



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**

**Facultad de Tecnología de la Construcción**

## **Monografía**

# **PROPUESTA PARA EL APROVECHAMIENTO DE LODOS DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUALES DE LA CIUDAD DE ESTELÍ COMO ALTERNATIVA PARA LA GENERACIÓN DE BIOSÓLIDO**

Para optar al título de ingeniero civil

## **Elaborado por**

Br. Jeyner Josué Vallecillo Gutiérrez

Br. Hawarth Amed Acuña Rodríguez

## **Tutor**

MSc. Ing. Henry Javier Vílchez Pérez

Managua, febrero 2019

## **Dedicatoria**

Este trabajo investigativo está dedicado:

**A Dios**, por permitirme lograr nuestras metas y aportar un granito de arena en pro de preservar el medio ambiente, por habernos ayudado a llegar tan lejos y permitirnos realizar esta investigación.

**A mis padres**, por apoyarnos incondicionalmente en este proyecto académico, por brindarnos su ayuda económica, que gracias a su amor y cariño hemos podido estar donde estamos el día de hoy.

**A los maestros**, que nos enseñaron y nos guiaron durante los cinco años que duró la carrera, que compartieron sus conocimientos con nosotros y nos enseñaron a ser mejores estudiantes y profesionales cada día.

**A nuestros compañeros de estudio**, grupo que por cinco años se caracterizó por su unidad, compañerismo, dedicación y perseverancia, lo que nos permitió superar los obstáculos presentados a lo largo de esos años.

*HAWARTH AMED ACUÑA RODRIGUEZ  
JEYNER JOSUE VALLECILLO GUTIERREZ*

## **Agradecimientos**

Agradecimiento a **Dios** nuestro Señor, guía espiritual que en todo momento nos ha iluminado para seguir el camino correcto y lograr nuestros objetivos.

Agradecemos también a **nuestros padres** ya que nos apoyaron incondicionalmente, que con su apoyo económico nos dieron la oportunidad de poder estudiar y culminar nuestra carrera.

Especial agradecimiento al **Ingeniero Henry Vílchez** por su valiosa e incondicional colaboración en la realización de este trabajo investigativo, tutor que durante esta investigación nos ayudó mucho y que con su ayuda este trabajo no hubiera sido posible.

También agradecemos a la **universidad FAREM-Estelí** por brindarnos su ayuda y conocimientos acerca de este trabajo investigativo.

Agradezco a todas las personas que contribuyeron de una u otra manera a la realización de este estudio, ya que sin ellos no hubiese sido posible la culminación de nuestro estudio.

A todos(as) muchas gracias y que Dios derrame muchas bendiciones.

*HAWARTH AMED ACUÑA RODRIGUEZ  
JEYNER JOSUE VALLECILLO GUTIERREZ*

## **Resumen**

El aumento de la población en Estelí ha hecho que se incremente la red de agua potable y residual y con ello ha dado lugar a la ampliación de sistema de tratamiento de agua residual (STAR), lo que ha implicado un aumento en el caudal de tratamiento de agua residual y por ende un incremento en la cantidad de lodos residuales producidos. Los lodos residuales representan un problema ambiental por las cantidades, volúmenes y contaminación que generan, sin embargo, pueden aprovecharse para producir un biosólidos que puede ser usado como mejorador de suelo.

El objetivo de esta investigación fue evaluar la eficiencia del lombricompostaje para la estabilización del lodo residual crudo de acuerdo a la NOM-004-SEMARNAT-2002, norma que rige el tratamiento y uso de los biosólidos productos de lodos de STAR. Los lodos residuales del sistema de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Estelí, fueron caracterizados para conocer las concentraciones de nutrientes como el fósforo 0.095mg/g-1, Nitrógeno total de 2.456%, materia orgánica de 13.40 %, coliformes fecales de 1.00E+00 NMP/g y huevos de Helmintos AND H/2g ST lo cual significa que no hubo presencia de estos últimos.

El efecto de la actividad de la lombriz (*Eisenia Foetida*) sobre los lodos residuales, se evaluó mediante un diseño experimental con cinco combinaciones sustrato: Lodo + estiércol ovino; Lodo + estiércol bovino; Lodo + cortes de pasto; Lodos + cortes de frutas; Lodo + cortes de pasto + cortes de frutas + estiércol bovino + estiércol ovino. Los resultados físicos del lodo crudo y del sustrato mejor adaptado demostraron que tienen un alto potencial como biosólido ya que presentan nutrientes que son de importancia para las plantas y el terreno.

Una vez finalizado el proceso de tratamientos de los lodos por medio del lombricompostaje, se evaluó la calidad del biosólido de acuerdo a la NOM-004-SEMARNAT-2002 en el cual se obtuvieron los resultados de disposición final de estos, en donde lo clasifiqué un biosólido de tipo C que significa que puede ser utilizado para mejoramiento de terreno y uso agrícola según la norma.

**Palabras claves:** Lombricompostaje, biosólidos, sustrato, problema ambiental

## Índice

CAPITULO 1. GENERALIDADES .....	
1.1. Introducción.....	1
1.2. Antecedentes .....	3
1.3. Justificación.....	5
1.4. Objetivos .....	7
1.4.1. Objetivo General: .....	7
1.4.2. Objetivos Específicos:.....	7
CAPITULO 2- MARCO TEORICO.....	9
2.1. Producción de lodos en las STAR.....	9
2.2. Lodos residuales .....	10
2.3. Manejo de los desechos sólidos .....	10
2.4. Manejos de los lodos.....	11
2.5. Compostaje de lodos.....	13
2.5.1. Disposición final.....	15
2.6. Fertilización .....	16
2.7. Biosólidos.....	17
2.8. Relación Carbono – Nitrógeno .....	17
2.9. Eiseña Foetida .....	18
2.9.1. Historia .....	19
2.10. Lombricompostaje o lombricultura .....	20
2.10.1. Ventajas .....	22
2.10.2. Condiciones ambientales para el desarrollo del lombricompostaje	22
2.11. Tratamiento de lodos en la STAR .....	23
CAPITULO 3- DISEÑO METODOLOGICO .....	26
3.1. Características del área de estudio.....	26
3.1.1. Descripción del sistema de tratamientos de aguas residuales de la ciudad de Estelí.....	27
3.1.2. Tratamiento preliminar .....	28
3.1.3. Tratamiento primario.....	29
3.1.4. Tratamiento Secundario .....	30
3.2. Recolección de Lodos .....	32

3.3.	Acondicionamiento del lodo .....	32
3.3.1.	Metabolismo .....	33
3.3.2.	Temperatura del lodo.....	33
3.4.	Instalación del lombricultivo .....	33
3.4.1.	Área de trabajo .....	34
3.5.	Montaje experimental .....	34
3.5.1.	Dimensión de las cajas .....	37
3.6.	Muestreo y análisis de los lodos .....	38
3.6.1.	Método de muestreo de los lodos y biosólidos según la NOM-004-SERMARNAT-2002.....	39
3.6.2.	Condiciones del sustrato .....	40
3.6.3.	Toma de datos para análisis diarios. ....	41
3.7.	Desarrollo y ejecución del proyecto .....	42
3.7.1.	Revisión semanal del contenido de humedad .....	42
3.7.2.	Control del pH.....	44
3.7.3.	Control de temperatura.....	45
3.7.4.	Oxigenación y volteo: .....	45
3.7.5.	Alimentación .....	45
3.7.6.	Riego .....	46
3.7.7.	Extracción de la lombriz.....	46
3.7.8.	Procesamiento final del abono.....	46
3.8.	Manejo del Biosólido según la NORM-004-SERMARNAT-2002.....	47
3.8.1.	Especificaciones de la normativa.....	48
CAPITULO 4. ANALISIS DE RESULTADOS .....		51
4.1.	Resultados de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos de los lodos crudos	51
4.1.1	Control de pH.....	53
4.1.2	Control de temperatura °C.....	56
4.1.3	Control de % de Humedad .....	59
4.1.4	Control de conductividad eléctrica .....	61
4.2.	Análisis del Biosólido.....	63
4.3.	Extracción de las lombrices.....	66
4.4.	Procesamiento final del abono .....	67

4.5.	Manejo del Biosólido según la NORM-004-SERMARNAT-2002 .....	67
CAPITULO 5- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....		70
5.1.	Conclusiones .....	70
5.2.	Recomendaciones.....	72
5.2.1.	Manejo de Biosolidos.....	72
CAPITULO 6- BIBLIOGRAFIA .....		75
6.1.	Bibliografía.....	75
CAPITULO 7- ANEXOS .....		78
7.1.	Anexos .....	78

## Índice de Tablas

<b>Tabla 1-</b> Comparación y características de las lombrices .....	18
<b>Tabla 2-</b> Especificaciones fisicoquímicas del humus de lombriz .....	21
<b>Tabla 3-</b> Distribución de lodo y alimentos en montaje experimental para definir la receta alimenticia .....	36
<b>Tabla 4-</b> Parámetros Fisicoquímicos y microbiológicos de los lodos provenientes de STAR.....	40
<b>Tabla 5-</b> Distribución de tareas y tiempos para seguimiento del montaje experimental.....	43
<b>Tabla 6-</b> Límites máximos permisibles de patógenos y parásitos en los lodos y biosólidos .....	47
<b>Tabla 7-</b> Aprovechamiento del Biosólido.....	47
<b>Tabla 8-</b> Resultados de análisis fisicoquímicos y microbiológicos de lodos crudos .....	51
<b>Tabla 9-</b> Tabla de monitoreo semanal de cada sustrato (promedio de 8 semanas) .....	53
<b>Tabla 10-</b> Resultados de análisis fisicoquímicos y microbiológicos del biosólido (lodo + sustratos combinados) de la semana 1 a la semana 4 .....	64
<b>Tabla 11-</b> Resultados de análisis fisicoquímicos y microbiológicos del biosólido (lodo + sustratos combinados) de la semana 5 a la semana .....	65

## Índice de Imágenes

<b>Imagen 1-</b> Localización del sistema de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Estelí .....	26
<b>Imagen 2-</b> Diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Estelí .....	27
<b>Imagen 3-</b> Estado de las lagunas anaerobias.....	30
<b>Imagen 4-</b> Estado físico de las lagunas de maduración .....	31
<b>Imagen 5-</b> Vista en planta del montaje experimental .....	35
<b>Imagen 6-</b> Vista de elevación del montaje experimental.....	35
<b>Imagen 7-</b> Distribución de lodo y sustrato.....	36
<b>Imagen 8-</b> Dimensionamiento de cajas.....	38
<b>Imagen 9-</b> Dimensionamiento de cajas.....	42
<b>Imagen 10-</b> Recolección de lodos en STAR Estelí .....	78
<b>Imagen 11-</b> Montaje experimental en Finca El Limón propiedad de FAREM-ESTELI .....	78
<b>Imagen 12-</b> Colocación de 50 lombrices por cajón .....	79
<b>Imagen 13-</b> Capsula de secado en horno (Platos patrios).....	79
<b>Imagen 14-</b> Equipo de campo utilizado para realizar medición de temperatura ...	79



<b>Imagen 15-</b> Horno utilizado para realizar porcentaje de humedad .....	79
<b>Imagen 16-</b> Volteo y oxigenación semanal .....	80
<b>Imagen 17-</b> Eisenia Foetida (Californiana) .....	80
<b>Imagen 18-</b> Extracción de lombrices por medio del tamizado.....	80
<b>Imagen 19-</b> Instrumento de campo para realizar medición de conductividad .....	81
<b>Imagen 20-</b> Procesamiento final del biosólido .....	81
<b>Imagen 22-</b> Diferencia entre el lodo y el biosólido .....	81
<b>Imagen 21-</b> Mantenimiento de muestras para enviar a laboratorio CIRA-MANAGUA .....	81
<b>Imagen 23-</b> Análisis de laboratorio de lodos crudos (NUTRIENTES) .....	82
<b>Imagen 24-</b> Análisis de laboratorio de lodos crudos (PATOGENOS) .....	83
<b>Imagen 25-</b> Análisis de laboratorio de Biosólido, semana 1 a la 4 (PATOGENOS) .....	84
<b>Imagen 26-</b> Análisis de laboratorio de Biosólido, de la semana 1 a la 4 (NUTRIENTES) .....	85
<b>Imagen 27-</b> Análisis de laboratorio del Biosólido, de la semana 5 a la 8 (PATOGENOS).....	86
<b>Imagen 28-</b> Análisis de laboratorio de Biosólido, de la semana 5 a la 8 (NUTRIENTES).....	86

## Índice de Gráficos

<b>Gráfico 1-</b> Control de pH semanal de sustrato 1 (Lodo + estiércol bovino) .....	54
<b>Gráfico 2-</b> Control de pH semanal del sustrato 2 (Lodo estiércol ovino) .....	54
<b>Gráfico 3-</b> Control de pH semanal del sustrato3 (Lodo + cortes de pasto).....	55
<b>Gráfico 4-</b> Control de pH semanal del sustrato 4 (Lodo + frutas) .....	55
<b>Gráfico 5-</b> Control de pH semanal del sustrato 5 (Lodo + estiércol bovino + estiércol ovino + cortes de pastos + frutas) .....	55
<b>Gráfico 6-</b> Control de temperatura del sustrato 1 (Lodo + estiércol bovino) .....	57
<b>Gráfico 7-</b> Control de temperatura semanal del sustrato 2 (Lodo + estiércol ovino) .....	57
<b>Gráfico 8-</b> Control de temperatura semanal del sustrato 3 (Lodo + cortes de pastos) .....	57
<b>Gráfico 9-</b> Control de temperatura semanal del sustrato 4 (Lodo + frutas).....	58
<b>Gráfico 10-</b> Control de temperatura semanal del sustrato 5 (Lodo + estiércol bovino + estiércol ovino + cortes de pastos + frutas).....	58
<b>Gráfico 11-</b> Control de % de humedad semanal del sustrato 1 (Lodo + estiércol bovino) .....	59
<b>Gráfico 12-</b> Control de % de humedad semanal del sustrato 2 (Lodo + estiércol ovino) .....	59
<b>Gráfico 13-</b> Control de % de humedad semanal del sustrato 3 (Lodo + cortes de pastos) .....	60
<b>Gráfico 14-</b> Control de % de humedad semanal del sustrato 4 (Lodo + frutas)....	60

<b>Gráfico 15-</b> Control de % de humedad semanal del sustrato 5 (Lodo + estiércol bovino + estiércol ovino cortes de pastos + frutas) .....	61
<b>Gráfico 16-</b> Control de conductividad eléctrica del sustrato 1 (Lodo + estiércol bovino) .....	62
<b>Gráfico 17-</b> Control de conductividad eléctrica del sustrato 2 (Lodo + estiércol ovino) .....	62
<b>Gráfico 18-</b> Control de conductividad eléctrica del sustrato 3 (Lodo + cortes de pastos) .....	62
<b>Gráfico 19-</b> Control de conductividad eléctrica del sustrato 4 (Lodo + frutas) .....	63
<b>Gráfico 20-</b> Control de conductividad eléctrica del sustrato 5 (Lodo + estiércol bovino + estiércol ovino + cortes de pastos + frutas) .....	63



## **CAPÍTULO 1- GENERALIDADES**

"Si hay magia en este planeta, está contenida en el agua."

Loran Eisely.



*Líder en Ciencia y Tecnología*

## **CAPÍTULO 1. GENERALIDADES**

### **1.1. Introducción**

El sistema de tratamiento de aguas residuales (STAR), de la ciudad de Estelí opera mediante un tren de tratamiento lagunar, con el siguiente arreglo como tratamiento primario se tiene lagunas anaerobias, como secundario lagunas facultativas y como terciario lagunas de maduración, de tal manera que el efluente es vertido a la quebrada La Limonosa.

Actualmente los lodos producidos por el sistema de tratamientos de aguas residuales, son secados y deshidratados durante un periodo de ocho a diez días, seguido de este proceso son recolectados y trasladados fuera de las lagunas a un terreno baldío ubicado en el lado oeste del STAR, allí son dispuestos perdiendo de esta manera el potencial de aprovechamiento.

Una forma de disponer adecuadamente el lodo y darle un valor agregado es mediante su estabilización por lombricompostaje. El lombricompostaje es un proceso biológico aerobio de oxidación de materia orgánica, realizada por el metabolismo de unos microorganismos, esta actividad genera calor que hace que la temperatura ascienda por arriba de los 50 °C durante varios días consecutivos. Esto degrada a los patógenos y da origen a un producto estable e inocuo, de color marrón oscuro, inodoro o con olor a humus, llamado composta, usada para mejorar la calidad del suelo agrícola (Trejos & Agudelo, 2012). El STAR de la ciudad de Estelí produce de 8 a 10 metros cúbicos de lodo por laguna es decir que en total este sistema produce 24 metros cúbicos aproximadamente de lodos semanalmente según (Montoya, 2008).

Para la toma de la muestra los lodos se recolectaron de las tres lagunas con una relación 1:1:1 (anaerobia, facultativa y maduración) en un bidón de cinco galones (18.925 litros), homogenizando de esta manera los lodos para tener un mejor valor de las características de estos lodos a nivel del sistema de tratamiento.

Para tener un marco legal manejable de estos lodos para su tratamiento, se tiene que guiar bajo una norma que facilite y determine el aprovechamiento de estos lodos; ya que en Nicaragua la norma técnica obligatoria Nicaragüense biosólido para uso en la producción agropecuaria y forestal, requisitos y niveles máximos permisibles (NTON 11044-14) no existe una acápita en cuanto al aprovechamiento de estos lodos y características finales que deben tener, y remite a ver RTCA 65.05.54.09, pero este reglamento es para un biosólido con fines comerciales y no se da una recomendación de los potenciales usos y limitaciones de este producto, por lo que, se propuso trabajar con la norma mexicana NOM-004-SERMARNAT-2002, esta norma contiene el procedimiento de tratamiento de lodos productos de STAR para procesarlos como biosólido al igual que contiene una tabla del potencial aprovechable y su uso, que en dependencia de sus resultados, esta norma lo caracteriza en 3 fases (A: usos urbanos con contacto público directo; B: uso urbano sin contacto público directo; C: usos forestales, mejoramiento de suelo y uso agrícola).

El lombricompostaje funciona en cinco etapas, la primera etapa consiste en el acondicionamiento del lodo en donde se ubica en un montaje experimental para llevar a cabo el proceso de degradación; en la segunda etapa se colocan las lombrices en el lodo y de esta manera verificar si el lodo es apto para la sobrevivencia de la *Eisenia Foetida*; en la tercera etapa se selecciona el sustrato para la alimentación del microorganismo, esto consiste en hacer varios tipos de sustrato y evaluarlos con el que mejor se adapten; en la cuarta etapa se evalúa sobrevivencia y reproducción de las lombrices luego de los 40 días de iniciado el proceso de compostaje y en la quinta etapa se obtiene el biosólido, este tiene que ser de color café claro y olor semejante al de la tierra.

Así de esta manera el lombricompostaje generara lodos o biosólidos que ayudara a los agricultores locales a usarlo como biosólido para sus plantas y de esta manera ayudar al ambiente (Trejos & Agudelo, 2012).

## 1.2. Antecedentes

El sitio para la construcción del STAR fue seleccionado desde 1984 por la Alcaldía Municipal de Estelí y el Instituto Nacional de Acueductos y Alcantarillados (INAA). El primer módulo de tratamiento se construyó en 1986 lo que significa que no se afectó otro terreno, ni se tuvo que realizar selección de otro sitio (Montoya, 2008).

El primer módulo de tratamiento “A” fue diseñado por la Dirección de diseño y construcción del INAA en 1985 y construido en 1986 con fondos del gobierno de Nicaragua. El módulo “B” fue financiado con fondos alemanes a través de las “Casas hermanas” y en 1984 se concluyó con el módulo “C” con financiamientos de la Agencia Española para el Desarrollo (ACEDI). Los módulos “B” y “C” siguieron las especificaciones de diseño que el INAA elaboró para el módulo “A” (Montoya, 2008).

Los módulos “B” y “C” fueron rehabilitados en 1999 y 2000, después del Huracán Mitch (octubre de 1988), el módulo “A” se rehabilitó en 1995. *Esta rehabilitación fue requerida debido a que el sistema era ineficiente, no cumplía con los valores máximos de los parámetros exigidos con el Decreto 33-95 (Disposición para el control de la contaminación proveniente de las descargas de aguas residuales domésticas, industriales y agropecuarias) y se necesitaba de un sistema que tratará un mayor volumen de aguas residuales dado que la población con acceso al sistema de alcantarillado sanitario en la ciudad de Estelí ha aumentado considerablemente en los últimos años un 50%. El caudal de diseño del STAR para esos 3 módulos era de 100 L/s (Montoya, 2008).*

En Nicaragua ha existido la experiencia de tratamiento de lodos como es el caso de la planta de tratamiento “Augusto C. Sandino” en Managua, este tratamiento de lodos que se realiza en la planta es con la utilización de coagulante químicos, para el tratamiento y estabilización de los lodos (ENACAL, 2016). La coagulación consiste en desestabilizar los coloides por neutralización de sus cargas, dando lugar a la formación de floculo. La coagulación de las partículas coloides se consigue

añadiendo al agua un producto químico llamado coagulante (electrolito), normalmente se utilizan las sales de hierro (cloruro férrico y aluminio).

La planta de tratamiento Augusto C. Sandino de Managua y sus naves de secado de lodos residuales con tecnología solar contribuyen a la estabilización del biosólido. La planta diariamente da tratamiento a 150,000 metros cúbicos de aguas servidas en el lago de Managua según datos de ENACAL, y a través del secado de los lodos se produce un material que podría tener muchos beneficios, como biosólido para mejorar el suelo para el cultivo. Según el Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados (INAA) el producto final podría ser utilizado en el futuro como biosólido y como combustible para generar energía.

Es importante mencionar que de acuerdo a los resultados de laboratorio realizados por ENACAL con respecto a las características de los lodos extraídos de las lagunas de la ciudad de Estelí tienen muy buenas características para ser aprovechados como acondicionador de suelos (Montoya, 2008).

En Estelí según Oakley (2005) comenta en su manual de diseño, operación y mantenimiento de lagunas de estabilización, que los lodos de la STAR de la ciudad de Estelí pueden ser aprovechable como biosólido para el uso agrícola, recuperación de suelos y fertilización de árboles de acuerdo (Oakley, 2005).

### **1.3. Justificación**

Los lodos residuales que se generan de la STAR de la Ciudad de Estelí son un problema por el costo adicional de tratamiento que implican, los volúmenes y las cantidades que se generan, así como por su composición, ya que están constituidos principalmente por materia orgánica y por elementos contaminantes que fueron removidos del agua. Así mismo, son un problema debido a los gases que desprenden como producto de su descomposición, los malos olores, y las bacterias y demás microorganismos patógenos que pueden llegar a generar.

De ahí que los lodos residuales que se generan, deban ser tratados para eliminar, disminuir o transformar estos elementos y que no representen un riesgo para la salud ni el medio ambiente. El problema generalizado con respecto al manejo de lodos residuales radica en que estos no son considerados un tema importante en las políticas públicas del manejo de residuos y, por lo tanto, ni se controlan ni se tratan adecuadamente, convirtiéndose en un problema de contaminación ambiental y de salud pública en la ciudad.

En el caso de la normativa nicaragüense (NTON11044-14), no plantea regulación sobre los tratamientos a los que se deben someter los lodos residuales con la finalidad de convertirlos en biosólidos, ni para construcción y operación de plantas.

El sistema de tratamientos de la ciudad de Estelí produce de 0.4-0.6  $m^3$  diarios de lodos y estos son vertidos en un terreno baldío perdiendo su potencial aprovechable, dichos lodos presentan un problema para el ambiente ya que los lixiviados generados contaminan el manto acuífero de la zona (Montoya, 2008).

De tal manera que se propone el lombricompostaje como una forma de tratar estos lodos por ser una tecnología que se apoya en seres vivos (*Eisenia Foetida*) para transformar materia orgánica. Además, es una técnica con un proceso limpio, de bajo costo y no ocupa mucho espacio para su aplicación.



En el caso de valorar la calidad del este biosólido que se generará se usara como referencia La norma oficial mexicana de protección ambiental para el manejo de lodos y biosólido porque contiene las especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final (NOM-004-SEMARNAT-2002).

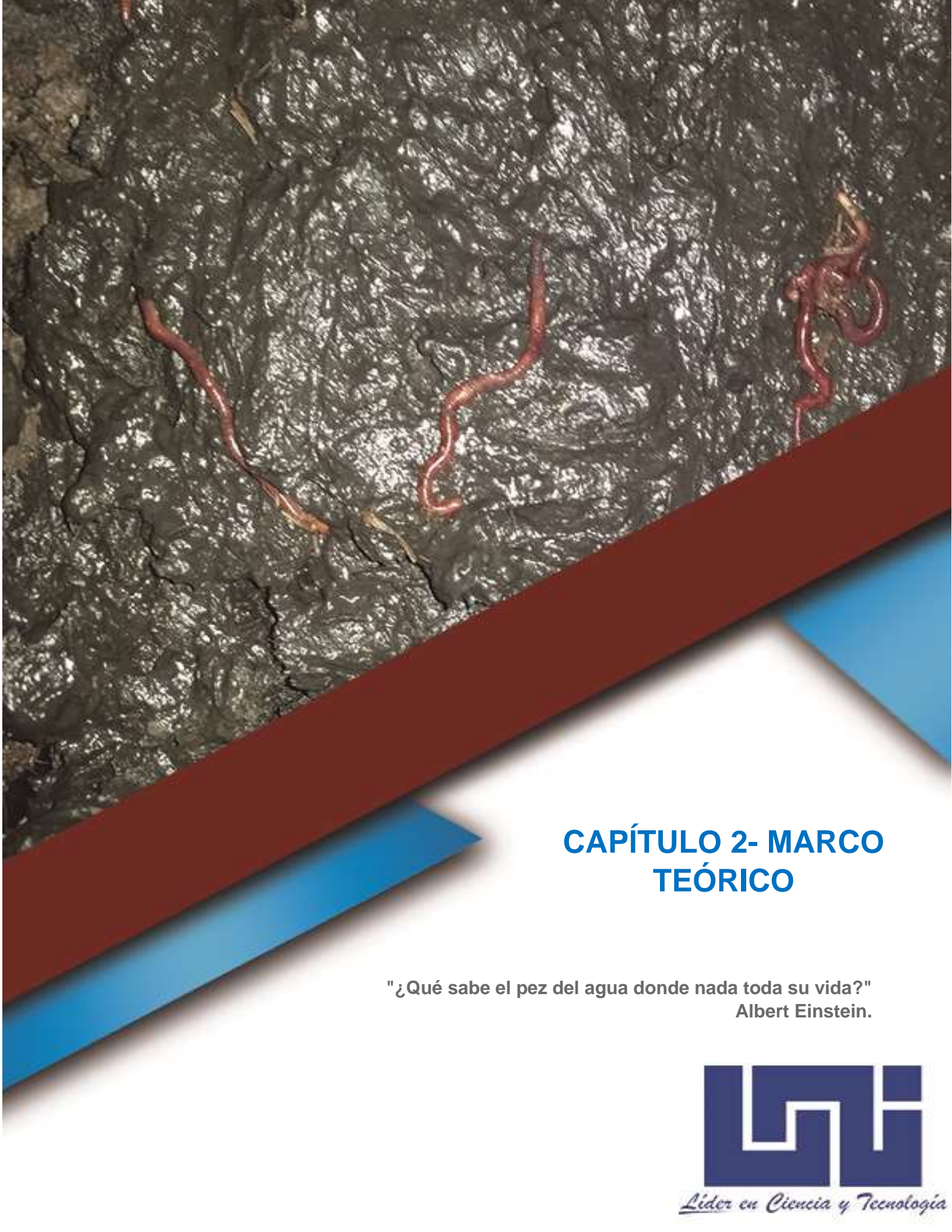
## **1.4. Objetivos**

### **1.4.1. Objetivo General:**

Proponer un aprovechamiento de lodos provenientes del sistema de tratamiento de agua residuales de la ciudad de Estelí como alternativa para la generación de biosólidos.

### **1.4.2. Objetivos Específicos:**

- Determinar el potencial aprovechable de los lodos, a partir de sus características físicas, químicas y biológicas.
- Evaluar la sobrevivencia de la *Eisenia Foetida* con la combinación de cinco tipos de sustrato.
- Evaluar el efecto de la densidad de población de la *Eisenia Foetida* sobre la degradación de una mezcla específica de lodo residual para cuantificar la producción de biomasa.
- Determinar la calidad agro-sanitaria a partir de los análisis físicos, químicos y biológicos del biosólidos.



## CAPÍTULO 2- MARCO TEÓRICO

"¿Qué sabe el pez del agua donde nada toda su vida?"  
Albert Einstein.



*Líder en Ciencia y Tecnología*

## **CAPÍTULO 2- MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Producción de lodos en las STAR**

Las diferentes actividades productivas y domésticas producen grandes cantidades de aguas residuales, las cuales contienen una diversidad amplia de contaminantes. Estas aguas deben ser procesadas en las STAR para su reúso o disposición con una calidad mayor. La calidad se mejora al eliminar los contaminantes. Dichos contaminantes son eliminados en diferentes puntos del proceso en forma de lodos, siendo éstos un concentrado de los compuestos más dañinos que constituyen dichas aguas. Las aguas residuales presentan cada una ciertas características particulares que van a determinar cuál será el tratamiento más adecuado a aplicar en cada caso (Trejos & Agudelo, 2012).

La biología es primordial para lograr los objetivos de tratamiento por medio de la transformación de la materia orgánica y los nutrientes. También es muy importante para entender los mecanismos para la reducción de los patógenos. Los patógenos de mayor preocupación son los huevos de Helmintos, Coliformes fecales y la *Salmonella* sp.

El tratamiento biológico aprovecha el metabolismo y tasa de crecimiento de microorganismos en procesos naturales, colocándolos en situaciones controladas para optimizar los resultados deseados. Los sistemas de tratamiento dependen generalmente de comunidades complejas de microorganismos. A medida que crecen los microbios, alteran dinámicamente el sistema al modificar la materia orgánica y soltar o fijar nutrientes. También liberan gases y otras sustancias que afectan al ambiente.

La materia orgánica biodegradable en los lodos residuales varía mucho según la fuente, pero, en general debe estabilizarse antes de su uso o disposición final. La estabilización consiste en la degradación del material que se descompone fácilmente, dejando al final materia orgánica menos degradable y más estable. Esto es importante para disminuir los olores, generar características más estables y

predecibles, reducir la demanda de oxígeno y permitir un fácil almacenamiento o manipuleo (Vesilind, 2001).

No existe una definición científica consensuada de lo que constituye materia orgánica 'estabilizada', pero en general se refiere a una resistencia a continuada biodegradación. Los lodos estabilizados consisten mayormente en partículas como celulosa, lignina, materia inorgánica y materia celular de los microorganismos que consumieron las sustancias orgánicas degradables, mientras los lodos no estabilizados contienen muchos compuestos que son degradados fácilmente, como hidratos de carbono, proteínas y azúcares. Se suele usar los sólidos volátiles como medida de la estabilización, ya que son considerados materia orgánica de fácil degradación (Vesilind, 2001).

## **2.2. Lodos residuales**

Son sólidos acumulados separados de las aguas residuales generando en los sistemas de tratamiento de aguas residuales. El lodo es gris pegajoso, de olor ofensivo, proveniente de los sedimentadores primarios, generalmente fácil de digerir (Trejos & Agudelo, 2012).

## **2.3. Manejo de los desechos sólidos**

Los desechos sólidos generados por los STAR deben ser manejados, en base a lo establecido en la NTON 05-014-02 "Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense para el manejo, Tratamiento y Disposición final de los Desechos Sólidos no Peligrosos.

Los desechos sólidos deben ser almacenados diariamente en sitios y recipientes adecuados y disponer al menos una vez a la semana en sitios autorizados, conforme lo establecido en las normas descritas en el inciso anterior.

El generador y prestador de los servicios de transporte de los desechos, debe cumplir con lo establecido en la Normas y leyes vigentes.

## **2.4. Manejos de los lodos**

Los generadores previos a la construcción de los STAR y el prestador del servicio deben presentar ante el MARENA o ante INAA según su competencia, para su aprobación, el plan de manejo de los lodos, que incluya al menos la caracterización, estimación de los volúmenes, almacenamiento, tratamiento y disposición final de los mismos.

Todo generador y prestador del servicio deberá contar con un aval de las autoridades competente para la disposición final de los lodos.

El generador deberá llevar un registro de la cantidad y calidad del lodo generando en los sistemas de tratamiento, el cual deberá ser remitido cuando estas lo requieran a las autoridades correspondientes.

Los generadores deberán realizar la caracterización de los lodos antes y después del tratamiento, para su posterior disposición final ya sea como biosólido, material para rehabilitación de terrenos, depositados en rellenos sanitarios, incinerados, confinamiento controlado, de acuerdo a las características finales del lodo obtenido.

La NORMA TÉCNICA AMBIENTAL PARA REGULAR LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES Y SU REUSO (NTON 05 027-05) esta norma tiene por objeto establecer las disposiciones y regulaciones técnicas y ambientales para la ubicación, operación y mantenimiento, manejo y disposición final de los desechos líquidos y sólidos generados por los sistemas de tratamiento de las aguas residuales domésticas, industriales y agropecuarias; incluyendo el reusó de las aguas tratadas.

Toda persona natural, jurídica pública, privada de una obra, proyecto o actividad responsable o administrativa de sistemas de tratamientos que generen lodos deben de cumplir con lo establecido en esta normativa, en el caso de existir instrumentos regulatorios específicos para el manejo de lodos prevalece la supremacía de los mismo (Comisión Nacional de Normalización Técnica y Calidad, 2006).

En su acápite 8 la norma **NTON 05 027-05** establece que:

8.5: Todo prestador de servicio de evacuación de lodos y otros residuales provenientes de tanques sépticos, terinas portátiles, trampas de grasa, sumideros y de otros medio de saneamiento, que se proponga utilizar el sistema de alcantarillado sanitario para disponer los desechos antes mencionados, deberá contar previamente con la autorización respectiva de la empresa operadora y de la administración del servicio de este sistema, si la disposición se propone había un cuerpo receptor el prestador del servicio debe cumplir con los parámetros establecidos en el Decreto No. 33-95 “Disposiciones para el Control de la Contaminación proveniente de las Descargas de Aguas Domésticas, Industriales y Agropecuarias” el permiso ambiental del MARENA.

### **Manejo de los lodos**

15.2: Todo generador y prestador del servicio deberá contar con un aval de las autoridades competente para la disposición final de los lodos.

15.3: El generador deberá llevar un registro de la cantidad y calidad del lodo generando en los sistemas de tratamiento, el cual deberá ser remitido cuando estas lo requieran a las autoridades correspondientes.

15.4: Los generadores deberán realizar la caracterización de los lodos antes y después del tratamiento, para su posterior disposición final ya sea como abono orgánico, material para rehabilitación de terrenos, depositados en rellenos sanitarios, incinerados, confinamiento controlado, de acuerdo a las características finales del lodo obtenido.

15.5: Toda persona natural, jurídica pública, privada de una obra, proyecto o actividad responsable o administrativa de sistemas de tratamientos que generen lodos deben de cumplir con lo establecido en esta normativa, en el caso de existir instrumentos regulatorios específicos para el manejo de lodos prevalece la supremacía de los mismo.

NTON 11 044-14 Biosólidos para uso en la producción agropecuaria y forestal.  
Requisitos niveles máximos permisibles

### **Objeto**

Establece las especificaciones técnicas, requisitos y niveles máximos permisibles (contaminantes) de biosólidos destinados para el uso agropecuario y forestal, provenientes de las Plantas de Tratamiento de aguas residuales municipales.

### **Campo de aplicación**

Esta norma aplica a las personas naturales o jurídicas que generan biosólidos provenientes de las Plantas de Tratamiento de aguas residuales municipales para uso de enmiendas de suelo, mezcla de sustratos y/o suplemento nutricional en unidades de producción agropecuaria y forestal convencionales, en transición u orgánica.

## **2.5. Compostaje de lodos**

El compostaje es un proceso controlado por medio del cual ocurre la descomposición biológica de la materia orgánica por acción de los mismos organismos que lo hacen naturalmente en el suelo. El producto final es un material oscuro, similar a humus, con muchos nutrientes y sirve para mejorar los suelos. Se define el humus como la porción estable de la materia orgánica del suelo, lo que queda después que la mayor parte de los residuos vegetales y animales se hayan descompuesto. Los mecanismos más importantes que regulan este proceso incluyen la oxidación de los compuestos orgánicos, la liberación e inmovilización de nutrientes y la síntesis microbiana de nuevos compuestos (Strande, 2014).

El compostaje termofílico es un proceso de tres fases. Durante la primera fase, las bacterias multiplican rápidamente al consumir los compuestos de fácil degradación (p.ej., azúcares, almidones, proteínas). La temperatura también aumenta debido a la alta tasa de crecimiento (reacciones catabólicas exotérmicas) y el calor no avanza escapar tan rápidamente. En la segunda fase, se logran temperaturas termofílicas de 50 a 75°C y las bacterias termofílicas se vuelven activas, descomponiendo aún



más la materia orgánica. Durante esta fase, las altas temperaturas reducen los patógenos y matan a las semillas de plantas (p.ej., malezas). En la tercera fase, se cumple con la estabilización al agotar los sustratos fácilmente biodegradables, la actividad bacteriana disminuye y la temperatura se reduce. En esta última fase, las actino bacterias y los hongos continúan a degradar las moléculas más resistentes, como la celulosa y la lignina (Strande, 2014).

La humedad óptima es de un 40 a un 60 % en peso/peso. El agua es vital para la actividad biológica y para el transporte de nutrientes a través de la pila de compostaje. Si la humedad es mayor a un 60 %, puede crear condiciones anaeróbicas que impedirían la actividad microbiana (Strande, 2014).

El espacio de poros libres en el compost debe ser mayor a un 20 % por volumen, con un contenido óptimo de oxígeno en el aire mayor a un 10 % para asegurar la descomposición aeróbica. Para lograr esto, es importante tener una mezcla de materiales de diferentes texturas para permitir el paso de oxígeno a través del montículo, asimismo es recomendable voltear el material periódicamente para introducir oxígeno y para redistribuir la materia orgánica que todavía no se descompone. Al virarlo e introducir aire, la temperatura se reduce, aunque pronto sube nuevamente con la aceleración de la actividad microbiana. Este proceso continúa hasta cumplir con la tercera fase del proceso de compostaje.

Uno de los tratamientos que desde siempre se ha aplicado para estabilizar la materia orgánica es el compostaje. Es un sistema de fundamento sencillo, versátil y puede aplicarse a diferentes tipos de materiales; se le considera económico y ecológico. Se ha comprobado que existe el peligro de confundir sencillez de descontrol o improvisación. El compostaje exige unas condiciones d de trabajo que debe cuidarse y unas señales de alerta que tienen que saber interpretar, en caso contrario deja de ser económico y ambientalmente aceptable.

Aunque la mayoría de materiales orgánicos se puedan compostar, frecuentemente no se aplica el proceso adecuadamente o no se hace sobre los materiales convenientes para el producto que se pretende obtener (Inversanet, 2016).

Recientemente, en México fue emitida la normatividad que regula el manejo de los lodos residuales, lo que propició que las plantas depuradoras construidas antes de los años 90, no fueran provistas de instalaciones especiales para el tratamiento de lodos. A partir de esto, se ha iniciado la búsqueda de tecnologías eficientes y de bajo costo para la depuración de los lodos residuales que cumplan con la normatividad ambiental correspondiente.

***Las técnicas más utilizadas para el tratamiento de los lodos residuales son:***

- Incineración de los lodos. Se lleva a cabo mediante la descomposición de los residuos en un ambiente rico en oxígeno y a altas temperaturas. Es costosa la incineración de lodos debido a que están demasiado húmedos para arder por sí solos (Glynn y Gary 1996).
- Digestión anaerobia. La digestión anaerobia se verifica en dos fases. La primera corresponde a la degradación de la materia orgánica. En la segunda, las bacterias productoras de metano de crecimiento lento (Glynn y Gary 1996).
- Digestión alcalina de lodos. La estabilización alcalina es un proceso que se implementa fácilmente en plantas de tratamiento pequeñas. La alta alcalinidad del lodo restringe su uso como acondicionador de suelo (Ramírez et al. 2000).

**2.5.1. Disposición final**

- Aplicación en terrenos: Los lodos residuales se disponen principalmente en rellenos sanitarios, basureros clandestinos y descarga a barrancas. Esto afecta al suelo, las aguas superficiales, mantos acuíferos, la flora y fauna del lugar, así como la salud del hombre ya que antes no han recibido ningún tipo de tratamiento para su estabilización (Martín del Campo 1996).
- Aplicación en suelos agrícolas: El uso de lodos en la agricultura, recuperación de canteras, reforestación y producción de materiales de construcción, entre otros. Actualmente es común la incorporación de lodos residuales en suelos agrícolas, ya que reduce la incorporación de fertilizantes comerciales, mejora su fertilidad,

aumenta la capacidad de retención de agua y reduce la erosión del suelo (Franco et al. 2000).

El compostaje, representan tecnologías viables, por económicas y eficientes para abatir patógenos y facilitar el manejo de los lodos residuales.

En el lombricompostaje, las lombrices llevan a cabo un proceso fisiológico de digestión de los residuos orgánicos, sin dejar fuera la participación de los microorganismos. De esta manera la materia orgánica contenida en los lodos residuales es fragmentada, descompuesta y estabilizada. (Pastorelly 2001), menciona que la lombriz, estabiliza a neutro los valores de pH, airea el sustrato y favorece la proliferación de una importante población microbiana.

## **2.6. Fertilización**

Se considera que para lograr una fertilización eficiente y apropiada es necesario conocer las relaciones entre la planta, el suelo y las características de cada uno de ellos, como son: disponibilidad de nutrientes en el suelo, función de estos en la planta, relación entre ellos, requerimientos nutricionales del cultivo, fuente y manera de aplicar el fertilizante.

Por todo lo anterior, para determinar la recomendación de fertilizantes y conocer la disponibilidad de los nutrientes en el suelo, la mejor herramienta es el análisis químico de fertilidad de suelo y un análisis foliar como complemento. Es conveniente que al inicio de la plantación se haga un análisis de suelo para determinar la dosis y el tipo de fertilizante requerido en base al contenido de nutrientes en el suelo y a las necesidades del cultivo.

Es recomendable que cada año se haga un análisis de fertilidad del suelo y del estado nutricional de la huerta para modificar o continuar con el mismo programa de fertilización. Si no se cuenta con resultados del análisis de suelo se puede utilizar la recomendación de la tabla de fertilización (Inversanet, 2016).

Por el contrario, el compostaje en condiciones aeróbicas registra un incremento espontáneo en la temperatura que favorece la descomposición de la materia orgánica, elimina microorganismos patógenos y no libera olores (Inversanet, 2016).

## **2.7. Biosólidos**

Los biosólidos son residuos orgánicos sólidos, semisólidos o líquidos que resultan del tratamiento de las aguas residuales procesadas en las plantas de tratamiento de aguas residuales.

Por su alto valor nutricional pueden ser usados para la agricultura y jardinería. Su contenido de macro y micronutrientes promueven el crecimiento de las plantas y cultivos.

En muchos países, principalmente en las ciudades grandes, hay una tendencia general para reducir, reciclar y reutilizar los biosólidos en forma beneficiosa para el ambiente. En Estados Unidos más del 50% de los biosólidos generados se reciclan como acondicionador de suelos para mantenerlos productivos y estimular el crecimiento de las plantas. Los biosólidos poseen además un alto valor calorífico lo cual los hace una excelente fuente para el desarrollo de alternativas de combustión con recobro de energía.

## **2.8. Relación Carbono – Nitrógeno**

Se puede regular el proceso de compostaje por medio de la optimización de la proporción de carbono a nitrógeno (C:N), la humedad y el suministro de oxígeno. La óptima relación de C:N que ha sido observada empíricamente es entre 20 y 30, basado en las cantidades de carbono y nitrógeno que utilizan los microbios durante su crecimiento. Debe haber un equilibrio entre contar con suficiente carbono para síntesis de las células o la extracción de energía y contar con suficiente nitrógeno para la síntesis de aminoácidos, enzimas y ADN. Si la proporción C:N es menor a 20, habrá un exceso de nitrógeno, lo que se perderá luego de la mineralización debido a salida de nitratos en forma líquida o la evaporación de amoníaco. Si la proporción C:N es mayor a 30, el nitrógeno queda 'encerrado' en la materia orgánica y no está disponible a los microbios (Strande, 2014).

La relación carbono nitrógeno es de suma importancia ya que estos elementos los utilizan los microorganismos para su desarrollo, la mayoría de microorganismos

usan 30 partes en peso de carbón por una de nitrógeno por, lo que la relación 30 a 1 es lo ideal para un buen composteo. (Inversanet, 2016).

## 2.9. Eisenia Foetida

Vive entre 1 y 4 años en cautiverio. Se reproduce una vez por semana mediante fecundación cruzada, de cada acoplamiento resultan 2 cocones o capullos (uno de cada consorte). Cada uno contiene de 2-4 lombrices (y no 21 como afirman publicaciones de los años 70).

Las lombricitas permanecen en el cocón un tiempo variable que depende de la temperatura reinante. La óptima para su desarrollo son los 20-25°C, que se corresponden con una permanencia de entre 14 y 44 días (23 días de media). Las lombricillas en el interior del cocón se nutren de las secreciones albuminoideas que contienen hasta su nacimiento.

Las lombrices son de desarrollo directo (no proporcionan larvas como ocurre con otros invertebrados), naciendo del cocón pequeños animales parecidos a los padres, con los mismos hábitos alimentarios y similar dieta.

Estos juveniles, son transparentes y de pocos milímetros de longitud, pero al cabo de 50-65 días ya miden de 2 a 3 cm. Alcanzan la capacidad para reproducirse cuando estos ejemplares posean clitelo (engrosamiento en el tercio anterior del cuerpo). Los animales siguen creciendo hasta los 6 o 7 cm de longitud y un peso de entre 0,8 y 1,4 gramos (Inversanet, 2016).

De acuerdo a la tabla 1 se establece una comparación entre las lombrices *Eisenia Foetida* y Lombrices terrestres, ver tabla 1.

**Tabla 1-** Comparación y características de las lombrices

Características	<i>Eisenia Foetida</i>	Lombrices terrestres
Color	Rojo pardo	Café oscuro
Tamaño (cm)	8-10	30-35
Peso adulta (g)	1.5 - 2.3	4-4.5
Reproducción	Alta	Baja
Capsulas, capullos o Cocones	Una cada 7 días	Hasta 12 por año
Numero de Lombrices/ capsulas	De 6 a 8	De 1 a 2

<b>Características</b>	<b>Eisenia Foetida</b>	<b>Lombrices terrestres</b>
Ciclo de vida *	De 90 a 100 días	180 días
Adaptabilidad	De 0 a 3000 msnm**	Zonas tropicales

**Fuente:** Lumbricultura SAGARPA

Se estima que hay en el planeta más de 8,500 especies de lombrices, entre las cuales la más conocida es la lombriz de tierra (*Lumbricus terrestris*); sin embargo, para el manejo de desechos orgánicos se utilizan lombrices especiales, que reúnan ciertos requisitos tales como alta voracidad, alta capacidad reproductiva, fáciles de trabajar y con capacidad para adaptarse a condiciones adversas. La especie más utilizada en la Lumbricultura y que reúne los requisitos anteriormente citados es la lombriz roja californiana (*Eisenia Foetida*)

### **2.9.1. Historia**

La lombriz siempre ha estado ligada al desarrollo de la humanidad, se reporta su existencia desde hace 700 millones de años. En los años 384 – 322 a.C, Aristóteles, en su obra “Historia Animal”, las enunció como los intestinos de la tierra, que contribuían a su fertilidad. Las culturas chinas y africanas desde hace más de 200 años las conocen. En el año 1775, Sir Gilbert White conoció a través de sus estudios la extraordinaria importancia de la lombriz, y escribió el primer libro sobre el tema “La lombriz promotora de la vegetación.

En la época de posguerra, lo ganaderos europeos sufrieron una grave crisis económica. Al conocer las cualidades de la lombriz, la introdujeron en sus tierras, y lograron en un breve plazo apreciar las bondades de la misma y del valor agregado (Quiceno, 1995).

Actualmente la humanidad se encuentra en la necesidad de conservar el medio ambiente. La lumbricultura es una biotecnología orientada a la utilización de la lombriz como una herramienta de trabajo para el reciclaje de todo tipo de materia orgánica. Esta biotecnología permite obtener (principalmente como productos finales del proceso) el humus (Bollo, 2003).

## **2.10. Lombricompostaje o lombricultura**

La lombricultura es la cría de lombrices, las cuales producen como desecho un abono de muy buena calidad que se denomina humus de lombriz, el cual es el resultado de la digestión de los desechos orgánicos que les sirven de alimento. La carne también se puede aprovechar para consumo animal o humano, ya que tienen un gran valor nutritivo.

La lombricultura es una biotecnología que utiliza una especie domesticada de lombriz, ya que esta recicla todo tipo de materia orgánica obteniendo como fruto de este trabajo humus, carne y harina de lombriz. Se trata de una interesante actividad zotécnica que permite perfeccionar todos los sistemas de producción agrícola. La lombricultura constituye un medio de descontaminación ambiental, al utilizar una serie de materiales biodegradables, a los que da un valor agregado para la utilización final.

La lombricultura es un negocio en expansión y en un futuro será el medio más rápido y eficiente para la recuperación de suelos de las zonas rurales. Entre las especies utilizadas para el campo de la lombricultura se encuentra la lombriz roja californiana (*Eisenia Foetida*) que es de un color rojo púrpura, su engrosamiento (clitelo) se encuentra un poco céntrico, su cola es achatada, de color amarillo y mide aproximadamente de 8 a 10 cm, es muy resistente a condiciones adversas del medio; y la lombriz roja africana que es de color oscuro, su engrosamiento.

Es una técnica que involucra varios procesos biológicos, que aceleran la transformación y mineralización de un residuo orgánico en descomposición y lo convierte en abono para las plantas. El lombricomposteo o crianza de lombrices, o vermicomposteo como se le ha llamado también, es una eco tecnología sencilla, viable y fructífera para la producción intensiva de abono orgánico. Por la calidad del producto que genera, puede hablarse del abono orgánico de mejor presentación, calidad y cotización en el mercado.

El abono de las lombrices no es sino el conjunto de las excretas o heces fecales de las lombrices; tiene la misma apariencia y olor de la tierra negra y fresca, es un sustrato estabilizado de gran uniformidad, contenido nutrimental y con una

excelente estructura física, porosidad, aireación, drenaje y capacidad de retención de humedad. Durante el proceso no se generan desperdicios, malos olores o atracción de organismos indeseables, además no requiere de equipos costosos, conocimientos profundos o controles estrictos.

Por la utilidad que representan al hombre y a la naturaleza, debemos reconocer las cualidades de las lombrices y del compostaje en general, para tratar de devolver a la naturaleza los nutrientes y la fertilidad que durante años y años hemos tomado del suelo. Una de las ventajas de lombricompostaje es su uso como fertilizante orgánico que libera lentamente sus elementos nutritivos, su aplicación puede contribuir considerablemente al aprovechamiento y reciclaje productivo de estos desechos orgánicos (González, 2007).

En base a la norma NMX-FF-109-SCFI-2008 denomina humus de lombriz (lombricompostaje) al producto resultante de la transformación digestiva y metabólica de la materia orgánica, mediante la crianza sistemática de lombrices de tierra, denominada Lombricultura.

**Tabla 2-** Especificaciones fisicoquímicas del humus de lombriz

Característica	Valor
Nitrógeno total	De 1 a 4% (base seca)
Materia orgánica	De 20% a 50% (Base seca)
Relación	C/N $\leq$ 20
Humedad	De 20 a 40% (sobre materia humedad) <sup>2</sup>
pH	De 5,5 a 8,53
Conductividad eléctrica	4 $\leq$ 4 dS m <sup>-1</sup>
Capacidad de intercambio catiónico	>40 cmol kg <sup>-1</sup>
Densidad aparente sobre materia seca (peso volumétrico)	0,40 a 0,90 g mL <sup>-1</sup>
Materiales adicionados	Ausente

Fuente: NMX-FF-109-SCFI-2007

¿Para qué sirven?

Proporciona a los suelos permeabilidad tanto para el aire como para el agua. Aumenta la retención de agua y la capacidad de almacenar y liberar nutrientes requeridos por las plantas. Presenta una alta carga microbiana que resulta de la actividad biológica del suelo, entre otras ventajas.



### **2.10.1. Ventajas**

Proporciona a los suelos permeabilidad tanto para el aire como para el agua. Aumenta la retención de agua y la capacidad de almacenar y liberar nutrientes requeridos por las plantas en forma sana y equilibrada.

Su pH es neutro y se puede aplicar en cualquier dosis sin riesgo de quemar las plantas, la química del humus de lombriz es equilibrada y nos permite colocar una semilla en ella sin el menor riesgo.

Presenta una alta carga microbiana que resulta de la actividad biológica del suelo; esta flora bacteriana es la que desempeña las funciones vinculadas a la absorción de nutrientes por las raíces.

### **2.10.2. Condiciones ambientales para el desarrollo del lombricompostaje**

Se debe monitorear y controlar las condiciones ambientales para una óptima alimentación, reproducción y desarrollo del lombricultivo.

#### **Humedad**

Una humedad de alrededor del 60% al 80% es la ideal en la elaboración de lombricompostaje. Arriba de este rango, se considera una humedad excesiva que resulta en el desarrollo de condiciones anaeróbicas. La evaluación del contenido de humedad puede realizarse fácilmente con la “prueba del puño”: se toma un puñado de material que se exprime con fuerza y deben escurrir algunas cuantas gotas entre los dedos, pero no debe estar saturado de agua (encharcado).

Si la humedad no es adecuada puede dar lugar a la muerte de la lombriz ya que un déficit de humedad origina una oxigenación deficiente. Las lombrices toman el alimento succionando, por tanto, la existencia de humedad les facilita dicha operación (Trejos & Agudelo, 2012).

#### **Riego**

Si los contenidos de sales y de sodio en el agua de riego son muy elevados darán lugar a una disminución en el valor nutritivo del lombricultivo. Se debe tener en cuenta que los riegos no produzcan encharcamientos, ya que un exceso de agua

desplaza el aire del material y provoca fermentación anaeróbica (Trejos & Agudelo, 2012).

### **Temperatura**

El rango óptimo de temperaturas para el crecimiento de las lombrices oscila entre 12- 25° C; y para la formación de cocones entre 12 y 15° C. Durante el verano si la temperatura es muy elevada, se recurrirá a riegos más frecuentes, manteniendo las camas libres de plagas, procurando que las lombrices no emigren buscando ambientes más frescos (Trejos & Agudelo, 2012).

### **Aireación**

Es fundamental para la correcta respiración y desarrollo de las lombrices, ya que, si ésta no es la adecuada, el consumo de alimento se reduce, además del apareamiento y reproducción debido a la compactación.

La lombriz absorbe el oxígeno a través de su piel y requiere un ambiente que permita el flujo de aire y la disipación de calor, previniendo el desarrollo de condiciones anaeróbicas. El oxígeno también afecta la tasa de descomposición y la producción de olor, ya que los microorganismos anaeróbicos producen malos olores, específicamente por la producción de compuestos de amonio y ácidos sulfúrico y sulfhídrico. Sin embargo, un poco de olor es natural y se genera aun en los sistemas mejor manejados.

Aunque un medidor de oxígeno puede diagnosticar con rapidez problemas en el sistema, no es indispensable mientras se mantenga una aireación en el contenedor al revolver cuidadosamente el contenido con un bieldo una vez por semana o cada dos semanas (Trejos & Agudelo, 2012).

## **2.11. Tratamiento de lodos en la STAR**

De las opciones disponibles para la disposición final de los lodos tratados, su uso como mejorador de suelos es el más eficiente, dado que este residuo encierra en su composición materia orgánica, macro y micro nutrientes, que hacen que su contribución en el suelo sea de suma importancia en lo que respecta al ahorro de

recursos en la compra de fertilizantes, además de proporcionar una mejora en las características físicas, químicas y biológicas del suelo que lo recibe, lo que se traduce en bajos costos de disposición final e impactos positivos al ambiente por el reciclaje de nutrientes en el suelo.

En otras palabras, el material resultante del tratamiento de los lodos puede ser empleado en actividades agrícolas, de jardinería y en la recuperación de suelos deteriorados, entre otros usos.

Sin embargo, el lodo proveniente de la plantas de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Estelí, encierra en su composición constituyentes de varias fuentes, con propiedades y naturaleza diferentes que producen efectos aún poco conocidos al ambiente donde están siendo dispuestos, principalmente cuando la opción de su destino final se da en el suelo para uso agrícola, campo en el cual posee restricciones debido a las concentraciones de organismos patógenos presentes en el lodo que pueden afectar la salud humana.

Entre las ventajas del uso de lodos de vermicomposta como mejoradores de suelo se encuentran: se aportan al suelo los nutrimentos que el lodo contiene y que son elementos esenciales para el crecimiento de las plantas; la materia orgánica mejora las condiciones químicas y físicas del suelo tales como estructura, permeabilidad y poder de amortiguamiento.

Es importante aclarar que los usos en suelo agrícolas se restringen por las concentraciones de microorganismos patógenos, en los productos obtenidos, que pueden afectar la salud humana. A pesar de esta alternativa, no deben emplearse directamente por lo que pueden generar efectos adversos sobre sus características.

Actualmente, con el fin de realizar un manejo adecuado se someten a diferentes tratamientos que los preparen antes de ser usados dentro de los que se encuentra el compostaje y especialmente usando la lombriz roja californiana (*Eisenia Foetida*) o lombricultura, el cual permite la transformación y translocación de materia orgánica (MO) para obtener abonos orgánicos libres de contaminantes (Trejos & Agudelo, 2012).



## CAPÍTULO 3- DISEÑO METODOLÓGICO

“Al final lo que importa no son los años  
de vida, si no la vida de los años”

-Abraham Lincoln



*Líder en Ciencia y Tecnología*

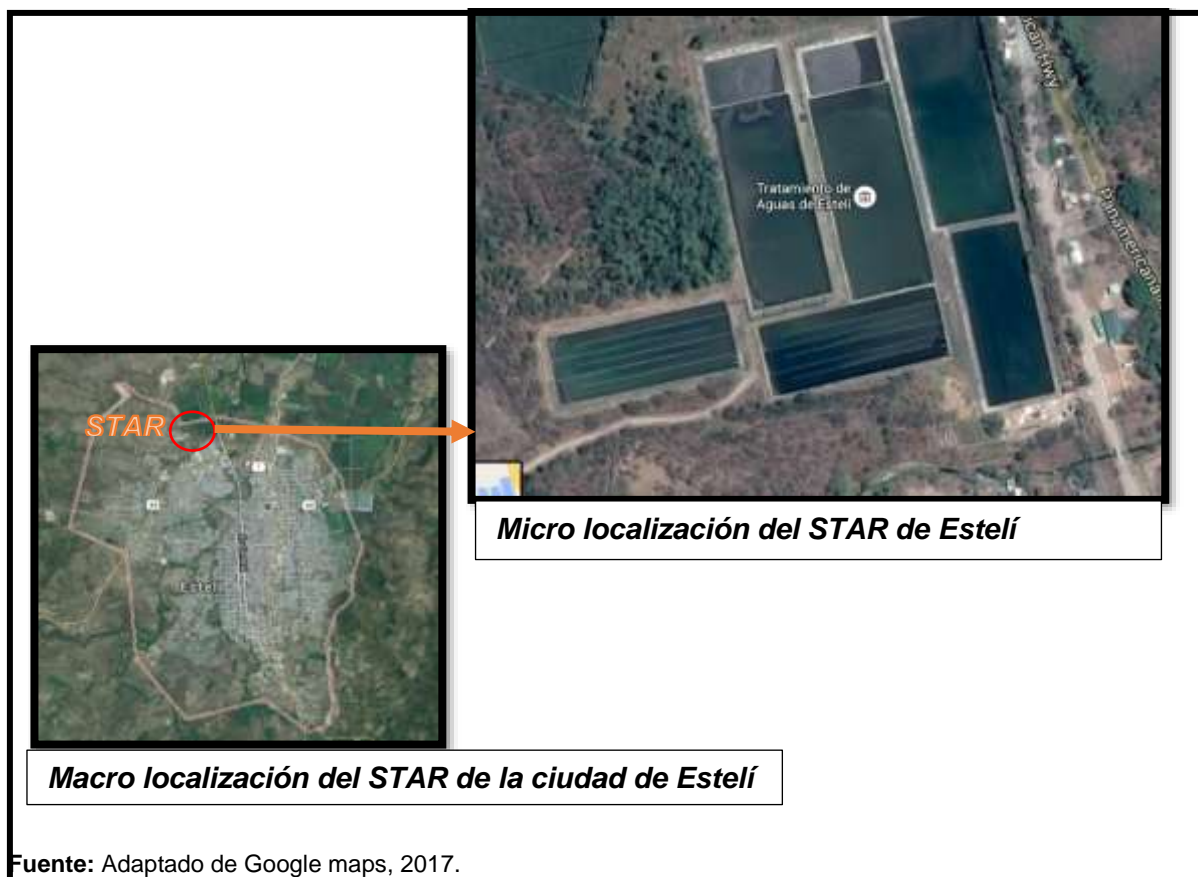
## CAPÍTULO 3- DISEÑO METODOLÓGICO

En este capítulo se presenta la metodología que se utilizó para realizar la parte experimental y de laboratorio para el desarrollo de la tesis. Se presenta la metodología que siguió para la realización del así como las condiciones óptimas que se implementaron para obtener este producto.

### 3.1. Características del área de estudio

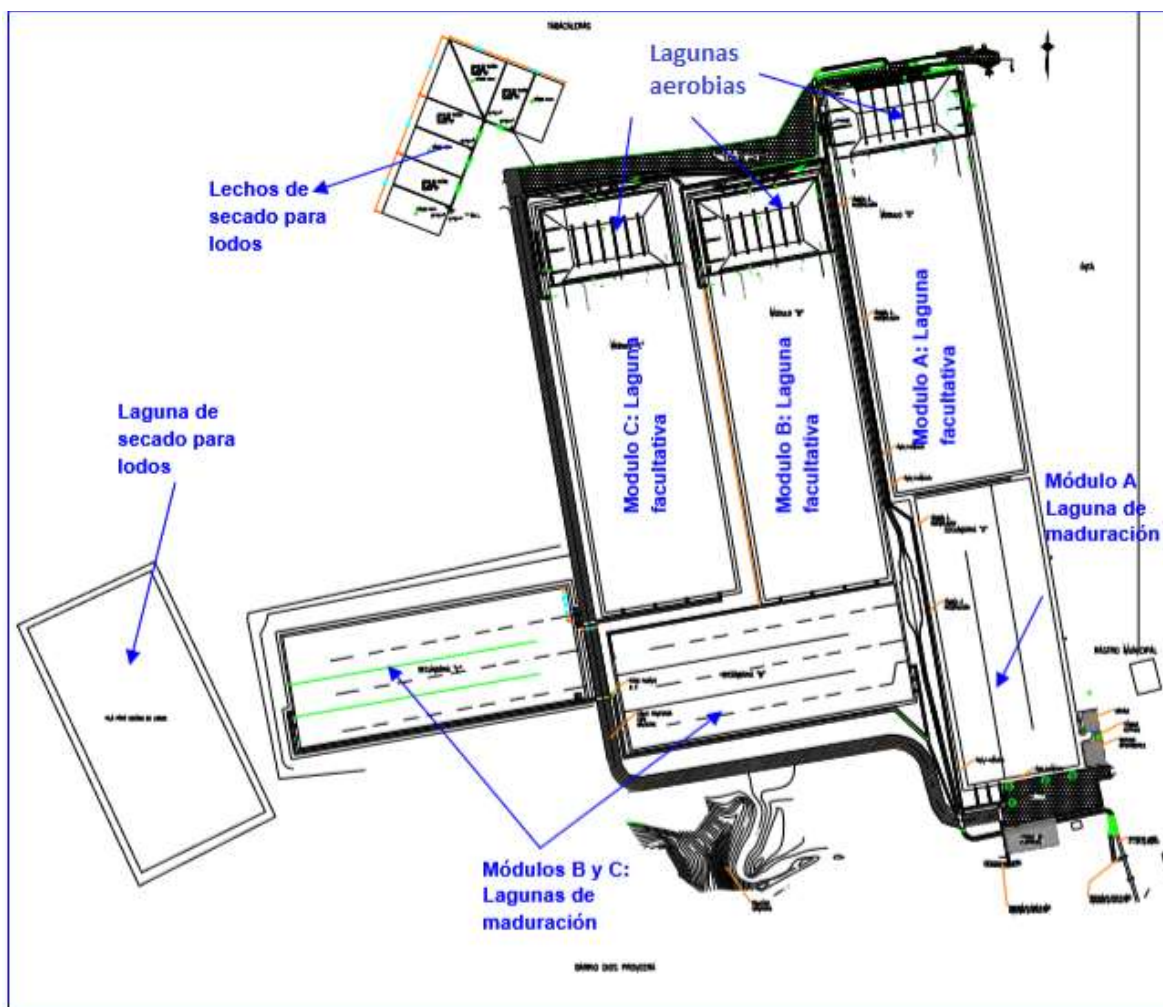
La planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Estelí se encuentra ubicada en la salida norte de la ciudad a orillas de la carretera panamericana,  $13^{\circ}06'38.9''N$ ,  $86^{\circ}21'42.0''W$  , ver imagen 1.

**Imagen 1-** Localización del sistema de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Estelí





**Imagen 2-** Diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Estelí



Fuente: PRRAC, 2004

### 3.1.1. Descripción del sistema de tratamientos de aguas residuales de la ciudad de Estelí

El sistema de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Estelí está conformado por tres módulos independientes. Cada módulo constituido por una laguna anaerobia, facultativa y maduración, pero esencialmente el sistema se compone por un tratamiento preliminar, un tratamiento primario y un tratamiento secundario, con el objetivo de mejorar la calidad del agua residual que ingresa al

STAR, proveniente del alcantarillado sanitario de la ciudad y luego ser vertida al cuerpo receptor (Quebrada “La Limonosa”).

A continuación, se presenta la descripción de cada unidad de tratamiento del STAR-Estelí de acuerdo al diseño y condiciones actuales:

### **3.1.2. Tratamiento preliminar**

En este tratamiento se da el proceso de eliminación de materiales, que podrían perjudicar el sistema de conducción de la planta. El objetivo principal de este tratamiento es acondicionar el agua residual a fin de que esta pueda pasar a las demás etapas de tratamiento sin afectar la operación de los mismos.

En el siguiente esquema se presenta cada una de las unidades que comprende el tratamiento preliminar (Pinell Centeno, 2016).

- **Canal de rejas**

De acuerdo a criterios de diseños de INAA, para garantizar la retención de materiales gruesos provenientes del alcantarillado sanitario, se debe utilizar una rejilla removible, con un grado de inclinación de 45° y una separación entre las barras de 0.03 m (Pinell Centeno, 2016).

En el tratamiento preliminar del STAR se encuentran dos tipos de rejillas, las cuales son: rejilla gruesa y rejilla fina, estas presentan un grado de inclinación de 45 ° y una separación entre barras de 0.03 m. La rejilla gruesa se encuentra en buenas condiciones en comparación a la rejilla fina que está después del desarenador, la cual presenta un mal estado físico, por lo cual esto puede afectar los procesos subsecuentes del tratamiento (Pinell Centeno, 2016).

- **Desarenador**

Esta unidad tiene la función de separar los sedimentos por medio de gravedad y no afectar el funcionamiento de los módulos. El desarenador del STAR –Estelí está compuesto por dos canales paralelos, con el fin de dejar funcionando un canal mientras el otro se limpia. Actualmente el desarenador se encuentra saturado de sedimentos, lo cual ocasiona que esta unidad no trabaje

adecuadamente producto de la frecuente falta de mantenimiento (Pinell Centeno, 2016).

- **Medidor de caudal**

El sistema de tratamiento cuenta con una canaleta parshall la cual posee una escala métrica (1m) que sirve para la medición de caudales que ingresan al sistema. Esta unidad de medición de caudales presenta un buen estado físico lo cual hace que esta trabaje correctamente (Pinell Centeno, 2016).

- **Tamiz mecánico**

La finalidad de esta unidad de tratamiento es retener partículas sólidas finas de las aguas residuales y luego transportarlas a un depósito. Según el estado actual, este dispositivo ubicado en la parte sur del STAR, presenta un buen estado físico y se encuentra funcionando adecuadamente (Pinell Centeno, 2016).

### **3.1.3. Tratamiento primario**

El objetivo de este tratamiento es remover aquellos contaminantes como sólidos sedimentables y suspendidos por medio de sedimentación, flotación, filtración y precipitación. Para este tratamiento el STAR posee en cada módulo una laguna anaerobia.

En el esquema N° 2 se presenta la unidad que realiza el tratamiento primario del STAR.

- **Lagunas anaerobias**

Las lagunas anaerobias que posee cada módulo del STAR se encargan de la remoción de materia orgánica a través de un proceso biológico que realizan las bacterias en el fondo de la unidad de tratamiento. En estas lagunas se forma una capa o nata que asegura las condiciones para el proceso anaeróbico, las lagunas no tienen cámara de sedimentación de lodos y poseen una profundidad de 4m (Pinell Centeno, 2016).



Se puede decir que actualmente las lagunas anaerobias que comprende el STAR presentan un alto grado de saturación de sólidos y alta cantidad de algas, lo cual genera malos olores afectando a la población cercana al sistema, debido a la falta de mantenimiento operacional. La descarga de lodos de esta unidad es conducida a una laguna de secado a cielo abierto (Pinell Centeno, 2016).

**Imagen 3-** Estado de las lagunas anaerobias



Fuente: Propia

#### **3.1.4. Tratamiento Secundario**

Esta etapa del sistema de tratamiento es realizada por las lagunas facultativas y de maduración presentes en cada módulo y estas tienen como función principal la remoción del material contaminante a través de procesos bioquímicos, en los cuales los microorganismos son los encargados de la degradación de la materia orgánica contenida en las aguas residuales.

En el esquema N° 3 se presenta las unidades que comprende el tratamiento secundario.

- **Laguna facultativa**

La función principal de este tipo de laguna es la remoción de materia orgánica y agentes patógenos que se encuentran en las aguas residuales. El STAR cuenta con una laguna facultativa en cada módulo, las cuales tienen una dimensión de 187m de largo, 61m ancho y una profundidad 2m.

Actualmente las lagunas facultativas presentan acumulación de natas color gris en las esquinas, lo que ocasiona que las algas no realicen el proceso de fotosíntesis, evitando el proceso de degradación de la materia orgánica, lo cual afecta la

eficiencia de las lagunas y genera malos olores a los alrededores del STAR debido a la descomposición del material flotante (nata).

- **Laguna de maduración**

La finalidad de esta laguna es producir un efluente de alta calidad a través de la remoción de microorganismos patógenos. Las lagunas de maduración fueron diseñadas con paredes deflectoras (mamparas), para mejorar el régimen hidráulico por medio de un flujo tipo pistón.

De acuerdo al estado actual, las lagunas de maduración presentan un deterioro en los taludes; el agua contenida en estas lagunas presenta una coloración verde lo cual es un indicador de su alto contenido de algas. Al igual que las lagunas facultativas presentan en las esquinas acumulación de natas, lo cual produce malos olores y afecta directamente el proceso de remoción de coliformes fecales debido a la falta de mantenimiento operacional como se observa en la imagen siguiente:

**Imagen 4-** Estado físico de las lagunas de maduración



**Fuente:** Propia

El diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Estelí, está conformado por una laguna de secado para lodos, un lecho de secado de lodos, tres lagunas anaerobias, tres lagunas facultativas y tres lagunas de maduración todas estas lagunas construidas de forma paralelas. Aunque los lechos de secado y la laguna de secado para lodos no están siendo utilizados, ya que se encontraban colmatadas, por lo que los lodos que están siendo evacuados se están depositando en un terreno baldío a orillas de la planta.

### **3.2. Recolección de Lodos**

Se visitó el sistema de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Estelí para la recolección de lodos, se tomaron muestras de lodos residuales con base en los criterios establecidos en la NOM 004-SEMARNAT-2002. Una muestra fue tomada de cada una de las lagunas que se encontraba en secado (Módulo “C”), es decir, se homogenizó el lodo tomando una muestra con una proporción 1:1:1, medida en un bidón de 5 galones, para llevar a cabo la caracterización fisicoquímica y microbiológica de los lodos y una mayor cantidad de lodos residuales, fue colectada para establecer el experimento con las lombrices.

Para la toma de muestras se siguió lo establecido por la NOM-004-SERMARNAT-2002, en el cual especifica la toma, preservación y etiquetado de las muestras antes de ser enviadas a los laboratorios

### **3.3. Acondicionamiento del lodo**

La muestra de lodos que se recolectaron en el STAR del módulo “C” de la planta, se transfirió a una caja con rejillas y forrada con plástico negro con la finalidad de disminuir el porcentaje de humedad ya que es un factor muy importante para asegurar un proceso adecuado durante el lombricompostaje.

Frecuentemente el secado de los lodos, es difícil, si se tiene consistencia gelatinosa. En estos lodos, la eliminación del agua por filtración al vacío, por ejemplo, es muy difícil recomendándose un tratamiento previo.

El acondicionamiento del lodo se realizó con el motivo de mejorar sus características de deshidratación. Uno de los métodos más sencillos utilizados fue dejar el lodo en un área inclinada, es decir que de esta manera pueda evacuar los lixiviados que produce este tipo de lodo, y dejar orificios en la mesa en la que se ocupó para estabilizarlo, así de esta manera mejorar las características del lodo para ser tratado.

### **3.3.1. Metabolismo**

Para que se multipliquen, los microorganismos requieren energía y fuentes de carbono. Las bacterias pueden clasificarse según sus propiedades metabólicas, como fuente de energía, fuente de carbono y receptores de electrones (p.ej., aeróbicas o anaeróbicas). La energía puede venir del sol o de compuestos químicos (es decir, hay organismos fotótrofos y organismos quimiótrofos) y estos compuestos pueden ser orgánicos o inorgánicos (es decir, hay organismos quimiótrofos y organismos litoquimiótrofos). El carbono para sintetizar nuevas células puede ser obtenido de la materia orgánica o del dióxido de carbono. Otros nutrientes esenciales para el crecimiento de los microbios incluyen nitrógeno, fósforo, azufre, potasio, magnesio, hierro y calcio (Strande, 2014).

### **3.3.2. Temperatura del lodo**

La tasa de crecimiento de los microorganismos está ligada fuertemente a la temperatura. Muchas veces, se duplica la actividad biológica por cada aumento de 10°C en la temperatura, dentro del rango de temperaturas que sea aceptable para cada especie. Cada organismo tiene su temperatura mínima (en la cual no puede crecer), su rango óptimo de temperatura (en la cual sus reacciones enzimáticas sucedan a la mayor tasa posible) y su temperatura máxima (por encima del cual no puede crecer debido a la desnaturalización de sus proteínas). Existen cuatro tipos de organismos, definidos de acuerdo con sus rangos óptimos de temperatura, a saber (de lo más frío a lo más caliente): psicrófilos, mesófilos, termófilos e hipertermófilos (Strande, 2014).

## **3.4. Instalación del lombricultivo**

La instalación del lombricultivo se hizo en la finca experimental, El Limón de la facultad multidisciplinaria FAREM-ESTELI.

Se debe de tomar en cuenta que a la hora de la instalación del lombricultivo que este debe tener las condiciones óptimas para que la *Eisenia Foetida* sobreviva, es decir, buena aireación o ventilación del lugar, cerca de una toma de agua y tener el

sustrato lo más cerca posible, esto con el fin de garantizar un buen trabajo y desempeño de la lombriz, a la hora de degradar el lodo, el cual puede influir mucho en los resultados de campo y laboratorio (Trejos & Agudelo, 2012).

Se escogió este lugar, ya que cuenta con las características necesarias para un buen desempeño de la lombriz, tiene buena ventilación por lo que la temperatura por arriba de 26°-30° no influirán en la recolección de datos y análisis.

#### **3.4.1. Área de trabajo**

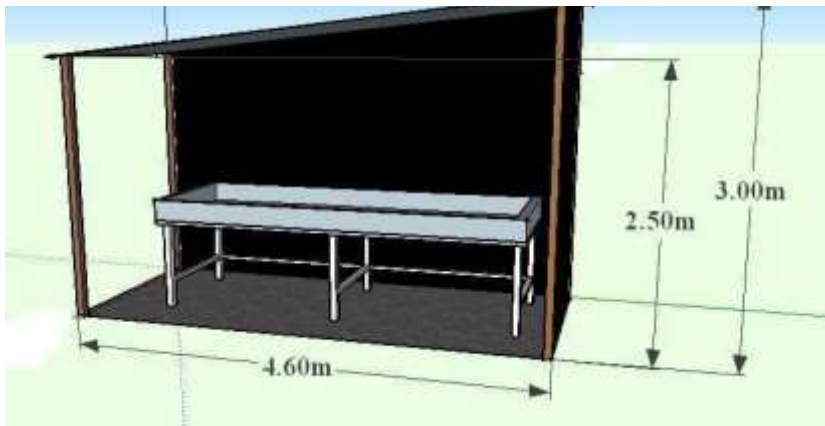
El área destinada para la instalación del lombricultivo se situó en un lugar aireado, con una inclinación mínima del 3% para la evacuación de los lixiviados; se tiene en cuenta que el sitio debe estar cerca de la fuente de agua para su riego y con fácil acceso para el suministro del sustrato (Trejos & Agudelo, 2012).

### **3.5. Montaje experimental**

El lodo fue trasladado hacia el montaje experimental ubicado en la finca el Limón propiedad de FAREM-Estelí.

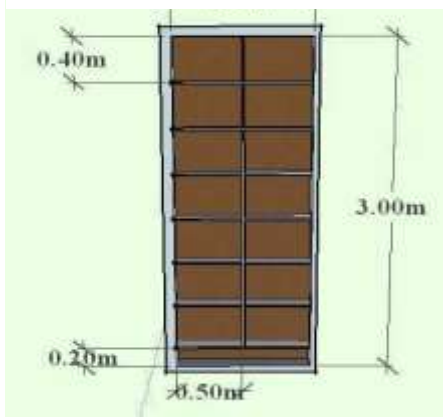
Para el montaje experimental, se construyó un pequeño lugar con madera local y forrado de plástico negro de 4\*3 m en donde se colocaron 15 cajas para la estabilización del lodo (ver imagen 6 y 7), con el siguiente arreglo de tres cajas por sustrato, se decidió hacer así para tener un mejor control de los parámetros y las lombrices obteniendo una mayor probabilidad de funcionamiento del experimento (González, 2007).

**Imagen 6-** Vista de elevación del montaje experimental



**Fuente:** Propia

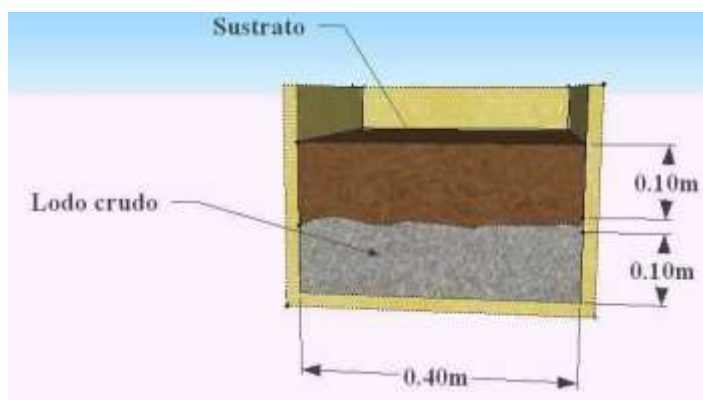
**Imagen 5-** Vista en planta del montaje experimental



**Fuente:** Propia

Una vez construido el montaje se procedió a extender las capas de material a estabilizar (lodo) junto con el sustrato (alimento). Para el montaje experimental se requerirán 15 cajas para combinarlas con los cinco sustratos, es decir tres cajas por sustrato, cada una con un espesor de aproximadamente 20 cm de alto equivalente a 10 kg de lodo y 10 kg de sustrato el cual consiste en lodo residual + lombrices + materia vegetal que servirá como cama de estabilización para cada una de las cajas que se estará suministrando semanalmente, ver imagen 5 (Trejos & Agudelo, 2012).

### Imagen 7- Distribución de lodo y sustrato



**Fuente:** Propia

En la tabla 3 se presenta la distribución de lodos, alimento, cantidad de lombriz para cada una de las 15 cajas con las que se desarrolló el experimento. Considerando además la proporción de sustrato necesario para la sobrevivencia de la lombriz. De tal manera que se observa el diseño experimental en la tabla 3.

En la primera semana se realizaron las actividades de preparación para el inicio del cultivo. De la segunda semana a la octava semana se realizaron actividades cíclicas para el desarrollo y mantenimiento del cultivo. Para la iniciación del cultivo se extendió la primera capa de lodo + sustrato y se humedecerá según el grado de humedad del lodo.

**Tabla 3-** Distribución de lodo y alimentos en montaje experimental para definir la receta alimenticia

Número de camas	Alimento para cada cama	Cantidad de lodo	Cantidad de lombriz	Proporción de sustrato
1, 2 y 3	Lodos + estiércol bovino	10 kg	150 c/u	10 k g
4, 5 y 6	Cortes de pasto + lodo	10 kg	150 c/u	5 kg
7, 8 y 9	Lodos + estiércol ovino	10 kg	150 c/u	10 kg
10, 11 y 12	Lodos + residuos de alimento (frutas y verduras)	10 kg	150 c/u	3 kg

<b>Número de camas</b>	<b>Alimento para cada cama</b>	<b>Cantidad de lodo</b>	<b>Cantidad de lombriz</b>	<b>Proporción de sustrato</b>
<b>13, 14 y 15</b>	Lodos + pastos + residuos de alimento + estiércol bovino + estiércol ovino	10 kg	150 c/u	2 kg de cada sustrato

**Fuente:** Propia

Luego de colocar la capa de sustrato (alimento), se procedió a realizar una prueba de supervivencia y detectar de esta manera si el lodo está apto para poder ser asimilado por las lombrices, las lombrices penetraron y se profundizaron en él, indicando que el lodo se encontraba en buenas condiciones. Después de realizar la prueba y verificar que las condiciones del sustrato serán aptas se procedió a incorporar las lombrices.

Para realizar la prueba de supervivencia se sembraron 50 lombrices. Si después de 24 horas las lombrices han profundizado, se puede sembrar el resto, y si no han sobrevivido existe alguna falla en el compost, por lo tanto, se deben revisar todos los aspectos recomendados para el montaje del lombricultivo.

Las fallas que se pueden detectar son, alto o bajo pH en el medio de cultivo; exceso o carencia de humedad; alta temperatura por falta de descomposición de los materiales que conforman el lecho o la cama (Trejos & Agudelo, 2012).

### **3.5.1. Dimensión de las cajas**

Se dimensionaron las cajas de tal modo que en ellas se lograra contener 10kg de lodo más el sustrato teniendo las siguientes medidas: 40\*50cm con un total de 14 cajas para contener lodo y una caja de 20cm\*1m de largo; esta última se hizo así ya que no alcanzaba en la mesa donde se colocaron las cajas, quedando así de esta medida, pero con la misma área cuadrada que el resto de 0.2 metros cuadrados, ver imagen 8.



### Imagen 8- Dimensionamiento de cajas



Fuente: Propia

### 3.6. Muestreo y análisis de los lodos

El país tiene una normativa nacional que regula el manejo de los lodos, pero no de tratamiento, es decir la norma nacional que existe solo contempla análisis de metales pesados y patógenos que están contenidos en los lodos, por lo que se trabajó con una metodología adaptada y reconocida por el MARENA.

La única norma nacional que existe para el manejo de los biosólidos es la NTON 11 044-14 (Biosólidos para uso en la producción agropecuaria y forestal) esta norma aplica a las personas naturales o jurídicas que generan biosólidos provenientes de los sistemas de tratamiento de aguas residuales municipales para uso de enmiendas de suelo, mezcla de sustratos y/o suplemento nutricional en unidades de producción agropecuaria y forestal convencionales, en transición u orgánica (NTON11044-14, 2014).

Se trabajó con la normativa mexicana **NOM-004-SEMARNAT-2002** (Ley de Protección ambiental.- Lodos y biosólidos.-Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final) para manejar un marco legal, ya que dicha norma contempla límites máximos permisibles para nutrientes, patógenos y metales pesados contenidos en los lodos y biosólidos,

además que también maneja un marco de disposición final del biosólido en dependencia de su carga orgánica y patógena final.

### **3.6.1. Método de muestreo de los lodos y biosólidos según la NOM-004-SERMARNAT-2002**

Consiste en obtener una porción del volumen generado, la cual debe conservar la integridad de todos sus contribuyentes, desde el momento en que es tomada la muestra (parte representativa de un universo o población finita obtenida para conocer sus características) y hasta el final de sus análisis o determinación en el de preservación utilizado.

- **Método**

Obtener muestras representativas de lodos y biosólidos para determinar su contenido de Coliformes fecales y huevos de helmintos.

- **Muestras líquidas o semisólidas**

Colectar la muestra directamente de la laguna en un recipiente plástico hasta obtener un volumen representativo para utilizar en cada uno de los análisis.

#### **3.6.1.1. Preservación y almacenamiento de la muestra**

A partir de la toma de la muestra esta se debe de mantener en refrigeración. El programa de muestreo debe de operar con un control de calidad. El responsable del muestreo debe mantener los registros de los nombres y títulos de los técnicos que realizaron el muestreo y del encargado de control de calidad de la muestra, además debe de mantener la información original reportada por el personal técnico que intervino en el muestreo, traslado y recepción de las muestras.

- **Etiquetado**

La muestra se identifica con una etiqueta, la cual debe de contener la siguiente información:

- Localidad, municipio y ciudad.
- Fecha y hora del muestreo.
- Cantidad de lodos tomados para el análisis.

Los análisis físico-químicos de los lodos residuales crudos se realizaron en el Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua (CIRA/UNAN-Managua) se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 4-** Parámetros Físicoquímicos y microbiológicos de los lodos provenientes de STAR

<b>Parámetros</b>	<b>Equipo</b>	<b>Método</b>
<b>pH</b>	Conductrionic pH 20	Potenciómetro
<b>Conductividad Eléctrica</b>	Conductrionic CL 90	Electrométrico
<b>Temperatura</b>	Termómetro, rango 0-400° C	Lectura directa
<b>Humedad</b>	Kelway soil, Acidity and moisture tester model HB-2	Lectura directa
<b>% de materia orgánica</b>	Materia Cristalina	Walkley-Black
<b>Nitrógeno Total</b>	Materia Cristalina	Kjeldahl
<b>Fosforo Total</b>	Espectrofotómetro Espectronic 20 Baush & Lomb	Digestion Acida
<b>Coliformes Fecales</b>	Filtro de membrana	Filtración a través de membrana
<b>Huevos de Helminthos</b>	Espectrofotómetro Espectronic 20 Baush & Lomb	Método de Faust

**Fuente:** Lumbricultura SAGARPA

### **3.6.2. Condiciones del sustrato**

Se deshidrato el lodo durante una semana, bajando así el contenido de humedad a un 60%, una vez llegado a este valor, se introdujeron las 50 lombrices por cajón y se observó la inmediata penetración en el lodo, esto para evaluar la sobrevivencia de la lombriz al lodo.

Al cabo de una semana se observó que las lombrices se habían adaptado al lodo y de inmediato se colocó el sustrato para realizar las tareas y análisis físicos por semana

Cuando se colocó el sustrato al lodo, se dejó una semana de prueba para ver a que sustrato se adaptaba mejor la lombriz, esto con el fin de realizar los análisis fisicoquímicos y microbiológicos al cajón con mejor adaptación de la lombriz, esto para reducir gastos en los análisis de laboratorio, ya que resultaba muy caro realizarlos a cada sustrato.

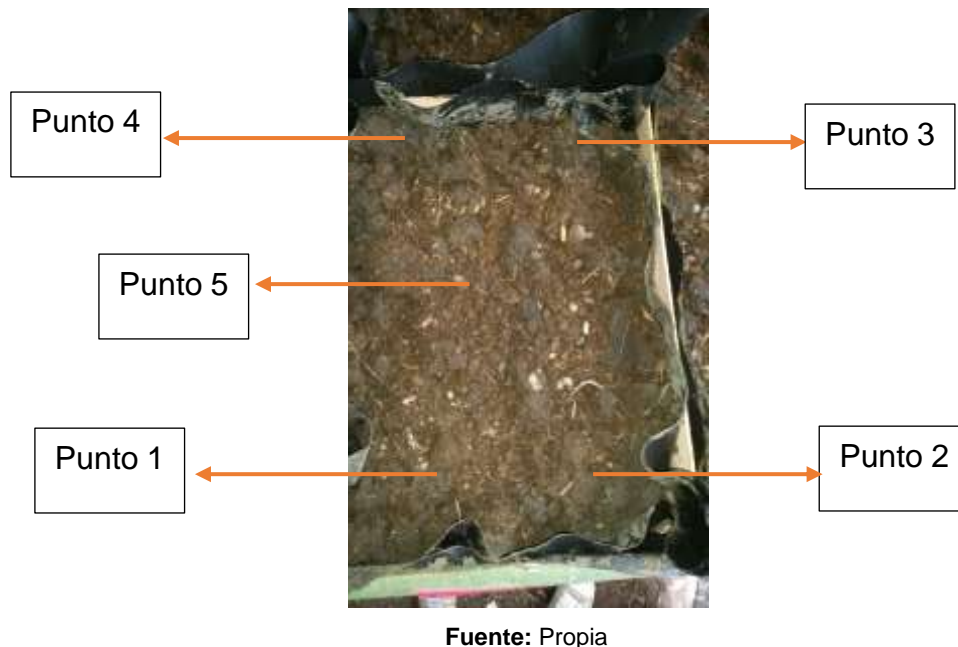
Con el objetivo de evaluar el comportamiento de las lombrices se decidió colocar cinco tipos de sustratos como se menciona en la **Tabla 3**, para conocer a cual se adaptan mejor las lombrices, una vez obtenida la información se realizaran los análisis fisicoquímicos y microbiológicos al biosólido del sustrato o cajón en donde se adaptaron mejor las lombrices, dichos análisis se realizaran durante los 2 meses que dure el montaje experimental (Montoya, 2008).

### **3.6.3. Toma de datos para análisis diarios**

Para la toma de datos en las camas de estabilización, se tomaron en cinco puntos distintos de las cajas, esto para tener un mejor control de los datos que se están recolectando diariamente como se muestra en la imagen 9.

Una vez que se obtienen los datos semanalmente, se procede a realizar una tabla de control para llevar un monitoreo en donde explica el día, la hora y la fecha que se tomo la muestra.

### Imagen 9- Dimensionamiento de cajas



## 3.7. Desarrollo y ejecución del proyecto

### 3.7.1. Revisión semanal del contenido de humedad

La humedad se revisó semanal por medio de un horno, según la teoría se debe mantener un rango del 60% de humedad. Se realizaron semanalmente por medio de un horno para secado de las muestras del lodo y con esto se llevó un control exacto de las cantidades de agua a la hora de humedecer el lodo (Trejos & Agudelo, 2012).

Para el cálculo de porcentaje de humedad se utilizó la formula siguiente:

$$\% H = \frac{(B-A)-(C-A)}{(B-A)} * 100$$

Donde

A= Peso de la capsula (plato) seca y limpia.

B= Peso de la capsula + muestra húmeda.

C= Peso de la capsula + muestra seca al horno.

**Tabla 5-** Distribución de tareas y tiempos para seguimiento del montaje experimental

<b>SEMANA 1</b>		
<b>Día</b>	<b>Actividad</b>	<b>Tiempo requerido</b>
<b>1</b>	Recolección de lodo y limpieza de arena	5 horas
<b>1</b>	Transporte de lodo a la zona de acondicionamiento	1 hora
<b>1</b>	Volteo para la oxigenación	1 hora
<b>1</b>	Medición de temperatura °C distribuida en diferentes zonas de la cama.	30 minutos
<b>1,3 y 5</b>	Medición de pH, tomar muestra de diferentes zonas de la cama.	30 minutos
<b>2</b>	Alimentación.	30 minutos
	<b>Tiempo total</b>	8 horas, 30 minutos
<b>SEMANA 2</b>		
<b>Día</b>	<b>Actividad</b>	<b>Tiempo requerido</b>
<b>1</b>	Volteo para la oxigenación	1 hora
<b>1,3 y 5</b>	Medición de PH y temperaturas distribuidas en diferentes zonas de la cama.	30 minutos
<b>3</b>	Volteo para la oxigenación	1 hora
<b>3</b>	Medición de PH y temperatura	30 minutos
<b>SEMANA 3</b>		
<b>Día</b>	<b>Actividad</b>	<b>Tiempo requerido</b>
<b>1</b>	Volteo para la oxigenación	1 hora
<b>1,3 y 5</b>	Medición de pH y temperatura distribuida en diferentes zonas de la cama.	30 minutos
<b>3</b>	Volteo para la oxigenación	1 hora
<b>3</b>	Medición de temperatura	30 minutos
<b>5</b>	Alimentación	1 hora
<b>SEMANA 4</b>		
<b>Día</b>	<b>Actividad</b>	<b>Tiempo requerido</b>
<b>1</b>	Volteo para la oxigenación	1 hora
<b>3</b>	Medición de PH y temperaturas distribuidas en diferentes zonas de la cama.	30 minutos
<b>5</b>	Volteo para la oxigenación	1 hora

<b>SEMANA 5</b>		
<b>Día</b>	<b>Actividad</b>	<b>Tiempo requerido</b>
<b>1</b>	Volteo para la oxigenación	1 hora
<b>1,3 y 5</b>	Medición de PH y temperaturas distribuidas en diferentes zonas de la cama.	30 minutos
<b>5</b>	Volteo para la oxigenación	1 hora
<b>SEMANA 6</b>		
<b>Día</b>	<b>Actividad</b>	<b>Tiempo requerido</b>
<b>1</b>	Volteo para la oxigenación	1 hora
<b>1,3 y 5</b>	Medición de PH y temperaturas distribuidas en diferentes zonas de la cama.	30 minutos
<b>5</b>	Volteo para la oxigenación	1 hora
<b>SEMANA 7</b>		
<b>Día</b>	<b>Actividad</b>	<b>Tiempo requerido</b>
<b>1</b>	Volteo para la oxigenación	1 hora
<b>1,3 y 5</b>	Medición de PH y temperaturas distribuidas en diferentes zonas de la cama.	30 minutos
<b>3</b>	Volteo para la oxigenación	1 hora
<b>SEMANA 8</b>		
<b>Día</b>	<b>Actividad</b>	<b>Tiempo requerido</b>
<b>1</b>	Volteo para la oxigenación	1 hora
<b>1,3 y 5</b>	Medición de PH y temperaturas distribuidas en diferentes zonas de la cama.	30 minutos
<b>5</b>	Volteo para la oxigenación	1 hora

**Fuente:** Propia

Esta tabla indica los días que se realizaron las actividades cíclicas, realizándolas 3 días a la semana, los días lunes, miércoles y viernes.

### **3.7.2. Control del pH**

Para la realización del monitoreo del pH se utilizó un instrumento de campo con lectura directa, el cual consiste en introducirlo en el lodo y esperar a que muestre el dato. Las lombrices pueden llegar a soportar pH ácidos hasta 5,5 y alcalinos de 8,5 arriesgando de esta manera la productividad de la lombriz

La mayoría de los microorganismos solo pueden sobrevivir y reproducirse en rangos respectivos de solo unos 2 a 3 unidades de pH en amplitud, según su especie, y

muy pocos resisten un pH menor a 3 o mayor a 10. De esta manera, la agregación de químicos para el control de pH contribuye a la reducción de patógenos. Sin embargo, el pH puede alterar a los procesos de compostaje y digestión anaeróbica y, por lo tanto, es importante tomar en cuenta los pasos posteriores cuando se aplican cambios en el pH para reducir los patógenos (Strande, 2014).

### **3.7.3. Control de temperatura**

Para el análisis de temperatura se tiene en cuenta los siguientes parámetros:

- Temperaturas mayores a 26° C: a temperaturas mayores a la mencionada se debe voltear u oxigenar el cultivo proporcionándole oxigenación y liberación de calor.
- Temperaturas menores a 22°C: en caso que las temperaturas desciendan por debajo de lo mencionado se debe proceder a cubrir el cultivo con sustrato alimenticio para aislar de la temperatura exterior (Trejos & Agudelo, 2012).

La mayoría de los patógenos son inactivados a temperaturas mayores a 60°C, puesto que sus proteínas y ácidos nucleicos celulares se desnaturalizan. Esto se logra por medio de procesos como el tratamiento con cal. A medida que sube la temperatura, la inactivación de los patógenos es más rápida.

### **3.7.4. Oxigenación y volteo**

La oxigenación y volteo se realizaron semanalmente teniendo en cuenta hacer una adecuada distribución de tareas y tiempos. El proceso de oxigenación y volteo es de vital importancia en el cultivo, ya que por medio de los volteos se le da al cultivo el oxígeno requerido para los microorganismos que intervienen en el proceso de estabilización y generación de abono orgánico (Trejos & Agudelo, 2012).

### **3.7.5. Alimentación**

El alimento se ubicó en capas sucesivas de 10 cm de espesor es decir 50% de lodo que equivalen a 10 cm y 50 %de sustrato que equivalen a los 10 cm de alimento. Para el desarrollo del proyecto se utilizaron cinco tipos diferentes de alimento distribuidos en cada una de las camas instaladas: ; corte de pastos y lodo; lodos,



pastos, frutas, estiércol ovino y ovino; lodos y estiércol bovino; lodo y estiércol ovino (Trejos & Agudelo, 2012).

#### **3.7.6. Riego**

El riego se realizó de manera directa, con manguera o regadera, para llevar un buen control del agua esparcida el día lunes, miércoles y viernes. Los riegos no se realizaron de forma excesiva ya que se arrastrarán proteínas y puede provocar la pérdida de valor nutricional del alimento y se puede provocar la muerte de la lombriz por ahogamiento (Trejos & Agudelo, 2012).

#### **3.7.7. Extracción de la lombriz**

Al cabo de dos meses la lombriz transformara el lodo en biosólido, el método utilizado para la separación de la lombriz es dejar la cama sin alimento por un período de 8 días para causar de esta manera estrés (hambre) en la lombriz. Se procedió a sacar ,manualmente las lombrices más grandes, en el caso de las lombrices más pequeñas se utilizara una malla para tamizar el biosólido y de esta manera hacer más fácil la extracción de la lombrices (Trejos & Agudelo, 2012).

#### **3.7.8. Procesamiento final del abono**

Al observar que la cosecha es decir el biosólido cambia de color café claro a oscuro y la textura comienza a tener similitud con la tierra (granulosa), su olor es semejante a la tierra y posee pH neutro, se procedió a desterronar (extraer las lombrices) y tamizar el biosólido.

Una vez separada la lombriz del biosólido, por medio del zarandeo o separación manual, se procedió a extenderlo en un lugar abierto para su debido secado, el abono no debe quedar del todo seco, se debe conservar como mínimo un 30% de humedad por un periodo de 8 días aproximadamente (Trejos & Agudelo, 2012).

Al finalizar el proceso de lombricultivo, es decir, al obtener el producto final llamado biosólido se procedió a sacar muestras en cantidades de 5 Kg para ser analizadas por laboratorio. Las muestras fueron enviadas al laboratorio, especializado en

análisis de productos agrícolas, concluyendo de esta forma lo planteado en los objetivos (Trejos & Agudelo, 2012).

### 3.8. Manejo del Biosólido según la NORM-004-SERMARNAT-2002

Esta norma oficial mexicana establece las especificaciones y los límites máximos permisibles de contaminantes en los lodos y biosólidos provenientes de desazolve de los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, de las plantas potabilizadoras y de las plantas de tratamientos de aguas residuales con el fin de posibilitar su aprovechamiento o disposición final y proteger el ambiente y salud humana.

Los límites máximos permisibles de patógenos y parásitos en los lodos y biosólidos se establecen en la tabla 6:

**Tabla 6-** Límites máximos permisibles de patógenos y parásitos en los lodos y biosólidos

Clase	Indicador bacteriológico de contaminación	Parásitos
	Coliformes fecales NMP/g en base seca	Huevos de Helminthos NMP/g en base seca
<b>A</b>	Menor de 1000	Menor de 1 (a)
<b>B</b>	Menor de 1000	Menor de 10
<b>C</b>	Menor de 2 000 000	Menor de 35

*Fuente: NORM-004-SERMARNAT-2002*

(a) Huevos de Helminthos viables; NMP= Numero más probable

Esta tabla establece los límites máximos permisibles para el aprovechamiento del biosólido, de acuerdo a la normativa esta tabla indicará que uso se le dará al biosólido según la tabla 7 que se muestra a continuación:

**Tabla 7-** Aprovechamiento del Biosólido

Tipo	Clase	Aprovechamiento
Excelente	A	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Usos urbanos con contacto publico directo durante su aplicación</li> <li>• Los establecidos para la clase B y C.</li> </ul>
Excelente o bueno	B	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Usos urbanos sin contacto publico directo durante su aplicación.</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los establecidos para la clase C.</li> </ul>
Excelente o bueno	C	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Usos Forestales.</li> <li>• Mejoramiento de suelos.</li> <li>• Usos agrícolas.</li> </ul>

Fuente: NORM-004-SERMARNAT-2002

### 3.8.1. Especificaciones de la normativa

- a) Las personas físicas o morales interesadas en llevar a cabo el aprovechamiento o disposición final de los lodos o biosólidos a que se refiere esta Norma Oficial Mexicana, deberá de recabar la “constancia de no peligrosidad de los mismo” en término del trámite SEMERNAT-07-007.
  - En el caso del proceso de estabilización alcalina, las muestras de lodos deben ser tomada antes de ser sometida a este proceso.
- b) Los lodos y biosólidos que cumpla con lo establecido en la especificación pueden ser manejados como residuo no peligrosos para su aprovechamiento o disposición final como se establece en la presente Norma Oficial Mexicana.
- c) Los generadores del biosólidos deben controlar la atracción de vectores, demostrando su efectividad. Para los cual se puede aplicar cualquier de las opciones descritas, de manera enunciativa pero no limitativa u otras que el responsable demuestre que son útiles para ello. Se deben conservar los registros del control por los menos durante los siguiente 5 (cinco) años posteriores a si generación.
- d) Para efectos de esta Norma oficial mexicana los biosólidos se clasifican en tipo: excelente y bueno en función de su contenido de metales pesado; y en clase: A, B y C en función de su contenido de patógenos y parásitos.
- e) La aplicación de los biosólido en terrenos con fines agrícola y mejoramiento de suelo se sujetará a la establecidos en la Ley Federal de sanidad vegetal y conforme a la normatividad vigente en la materia.
- f) Para la disposición final de los lodos y biosólidos, estos deben cumplir con la especificación y con los límites máximos permisible para el contenido del

indicador de contaminación, patógenos y parásitos especificados en la tabla 6, para clase C.

- g) Los sitios para la disposición final de lodos y biosólidos, serán los que autorice la autoridad competente, conforme a la normatividad vigente en la materia.
- h) Los lodos y biosólidos que cumplan con lo establecido en la presente Norma Oficial Mexicana, pueden ser almacenados hasta por un periodo de dos años. El predio en el que se almacenen debe ser habilitado para que no existan infiltraciones al subsuelo y contar con un sistema de recolección de lixiviados.
- i) Se permite la mezcla de dos o más lotes de lodos o biosólido, siempre y cuando ninguno de ellos este clasificado como residuo peligroso y su mezcla resultante cumpla con lo establecido en la presente Norma Oficial Mexicana.
- j) Muestreo y análisis de lodos y biosólidos.
  - 1. El generador de lodos y biosólido por medio de laboratorios acreditados debe realizar los muestreos y análisis correspondiente para demostrar el cumplimiento de la presente Norma Oficial Mexicana y deberá conservar los registros por lo menos los siguientes 5 (cinco) años posteriores a su realización.
- k) La frecuencia de muestreo y análisis para los lodos y biosólido se realizará en función del volumen de lodos generados.



## CAPÍTULO 4- ANALISIS DE RESULTADOS

“Si no te gusta algo, cámbialo, si lo puedes  
cambiar, cambia tu actitud.”

-Steve Maraboli



## CAPÍTULO 4. ANALISIS DE RESULTADOS

La caracterización del lodo crudo fue realizada en el laboratorio CIRA- Managua.

### 4.1. Resultados de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos de los lodos crudos

Para los parámetros de materia orgánica, nitrógeno total y conductividad eléctrica, la norma NOM 004 SERMARNAT 2002 no contiene valores permisibles o dato de referencia.

Es importante mencionar que de acuerdo los resultados del laboratorio, con respecto a los macro y micronutrientes, los lodos extraídos del STAR, tienen muy buenas características para ser aprovechados como acondicionador de suelos.

Con respecto a los análisis de huevos de helmintos, no se encontraron ya que la muestra fue en base seca, es decir se le realizó a un sólido el análisis, lo que quiere decir que solamente en el agua es que se encuentran estos parásitos.

**Tabla 8-** Resultados de análisis fisicoquímicos y microbiológicos de lodos crudos

Lodo Crudo		Parámetros (Rango permisible)
pH	6.5	5,5 8,53
Temperatura °C	25.2 °C	20°-35°
Conductividad Eléctrica mS/cm	1.35 mS/cm	-
% de Humedad	80%	50%-80%
Materia Orgánica %	13.40%	-
Nitrógeno Total %	2.456 %	-
Fosforo Total mg/g-1	0.095 mg/g-1	-
Coliformes Termotolerantes	1.00E+00 NMP/g (seco)	>2 000 000 NMP/g base seca
Huevos de Helmintos	AND H/2g ST	Menor a 35 NMP/g base seca

Fuente: Lumbricultura SAGARPA

Es importante mencionar que estos lodos tenían aproximadamente 60 días de secado al tomar la muestra, pero cuando éstos se comenzaron a retirar fue un mes más tarde y como medida preventiva no se utilizaron para cultivos de hortalizas.

El lodo crudo empleado en el presente trabajo, obtuvo un valor de pH de 6.5 que corresponde a un lodo ligeramente ácido (Ortiz- Hernández et al. 1993a). Este valor es reportado por Reinés (1998) como idóneo para introducción de las lombrices al lodo. Por su parte, el análisis de conductividad eléctrica dio un resultado promedio de 1.32 mS/cm, un valor que no alcanza los valores considerados como ligeramente salinos (2-4 mS/cm). Este valor es favorable para el desarrollo de las lombrices.

El contenido de materia orgánica total fue de 13.40% lo cual lo clasifica como extremadamente aprovechable (Ortiz-Hernández 1994), ya que demuestran su alto potencial como fertilizantes.

Los coliformes termo tolerantes dieron un valor de 1.00E+00 NMP/g (seco), dicho valor es considerado aceptado ya que en los lodos no contiene coliformes debido a que el análisis se realizó en base seca y quizás estén presente en la parte líquida.

En los lodos crudos no hubo presencia de huevos de Helmintos según los datos de los análisis obtenidos. La caracterización fisicoquímica del lodo residual crudo, dio resultados del porcentaje de nitrógeno total de 2.456%. El valor del fósforo total fue 0.095mg.g<sup>-1</sup>.

Los resultados fisicoquímicos obtenidos del análisis del lodo residual crudo revelan un alto potencial como fertilizante orgánico, sin embargo, los valores de los coliformes fecales los clasifica como un sustrato C, esto los restringe sólo para uso con fines forestales de acuerdo a la NOM-004-SEMARNAT-2002.

Estos valores demuestran la calidad del lodo como material rico en nutrientes y óptimos para el desarrollo de las plantas principalmente (Ortiz-Hernández 1994).

Los resultados del análisis hecho por el laboratorio dieron como conclusión que dichos lodos generados como residuos poseen condiciones óptimas para utilizarse en un lombricultivo.

Esta tabla 9, se muestra la toma de datos semanales para cada sustrato a estabilizarse. Se propuso la combinación de cinco tipos de sustrato como se mencionó en el segundo objetivo, con el fin de evaluar cual sustrato se adaptaba mejor a la *Eisenia Foetida* para la estabilización del lodo.

**Tabla 9-** Tabla de monitoreo semanal de cada sustrato (promedio de 8 semanas)

Semana 1 a la 8	Sustratos	pH	Temperatura °C	Conductividad eléctrica mS/cm	% humedad
<b>Lunes</b>	Sustrato 1	7.1	26.8		
	Sustrato 2	7.5	26.1		
	Sustrato 3	7.1	26.8		
	Sustrato 4	7.5	26.8		
	Sustrato 5	7.1	26.1		
<b>Miércoles</b>	Sustrato 1	7.1	26.7		
	Sustrato 2	7.02	25.6		
	Sustrato 3	7.02	26.3		
	Sustrato 4	7.02	26.7		
	Sustrato 5	7.02	25.5		
<b>Viernes</b>	Sustrato 1	7.1	24.9	1.52	60%
	Sustrato 2	7.1	24.5	1.55	63%
	Sustrato 3	7.08	25.6	1.56	64%
	Sustrato 4	7.1	26	1.54	62%
	Sustrato 5	7.1	24.6	1.55	62%

**Fuente:** Propia

Sustrato 1: Lodo + estiércol bovino.

Sustrato 2: Lodo + estiércol ovino.

Sustrato 3: Lodo + cortes de pasto.

Sustrato 4: Lodo + frutas.

Sustrato 5: Lodo + frutas + cortes de pasto + estiércol ovino + estiércol bovino

Se elaboraron 3 camas por sustrato es decir 15 camas en total para la cuantificación y toma de datos a partir de un promedio analítico, esto resulto más exacto y se llevó un mejor control del proyecto.

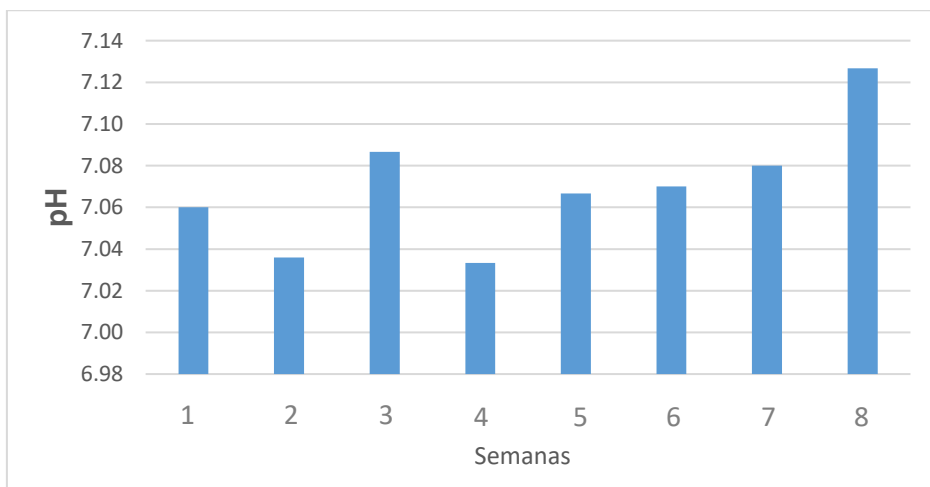
#### 4.1.1 Control de pH

En el gráfico No. 1 se muestran los pH tomados en un periodo de 8 semanas, los datos se fueron tomando 3 veces por semana los días lunes, miércoles y viernes, es decir, el pH se registraba cada 2 días con muestras aleatorias dentro de la cama.

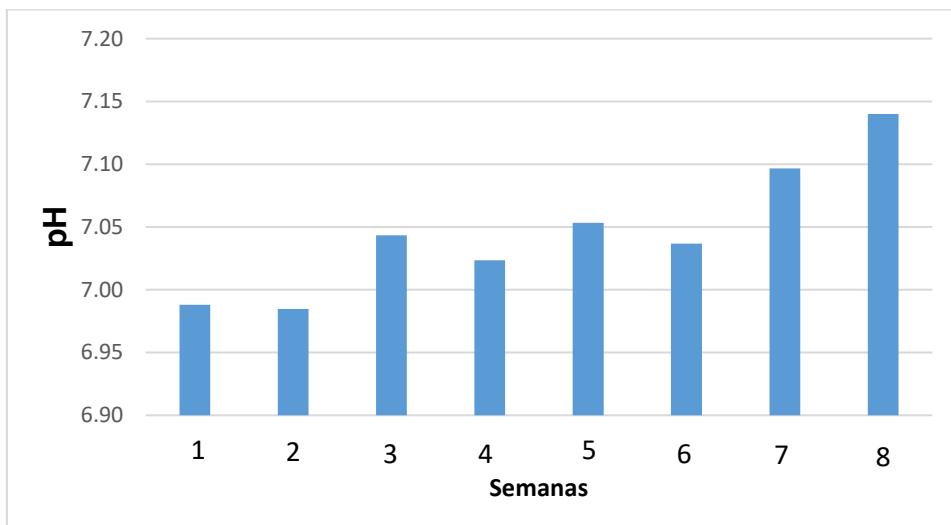


Para cada sustrato se tomaron cinco lecturas en diferentes ubicaciones dentro de la cama para tener un mejor resultado de las lecturas, se sacó un promedio por semana obteniendo los valores a continuación:

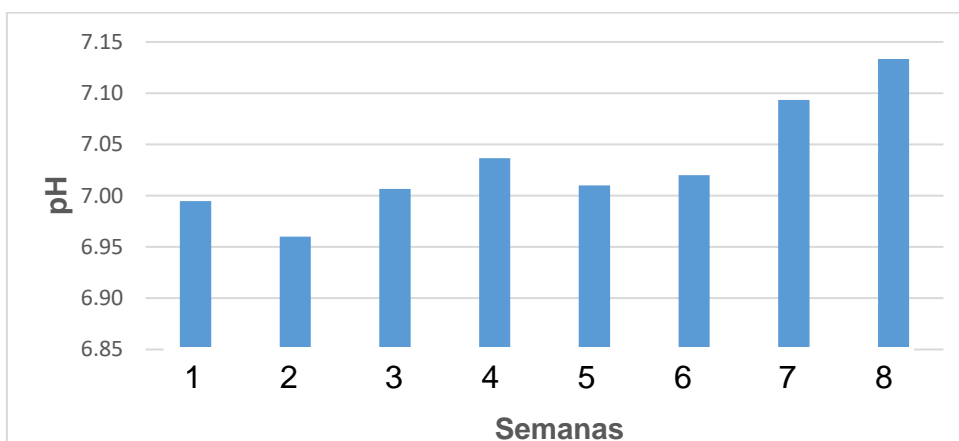
**Gráfico 1-** Control de pH semanal de sustrato 1 (Lodo + estiércol bovino)



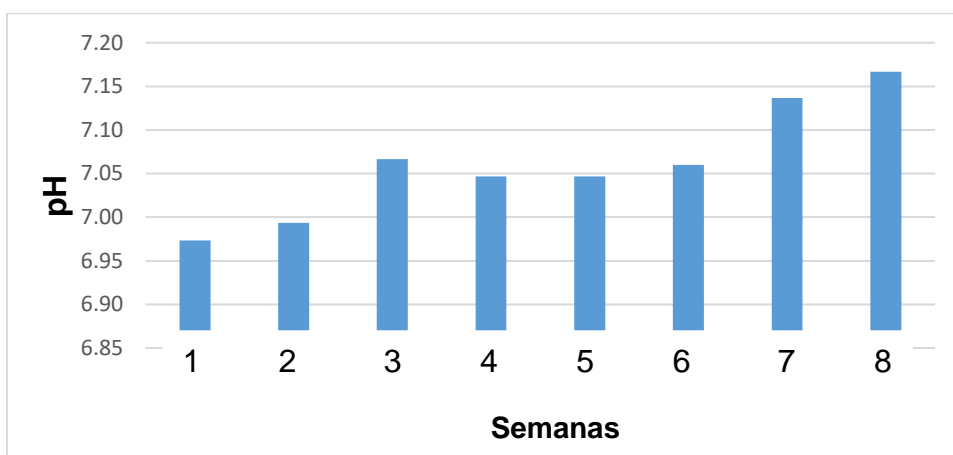
**Gráfico 2-** Control de pH semanal del sustrato 2 (Lodo estiércol ovino)



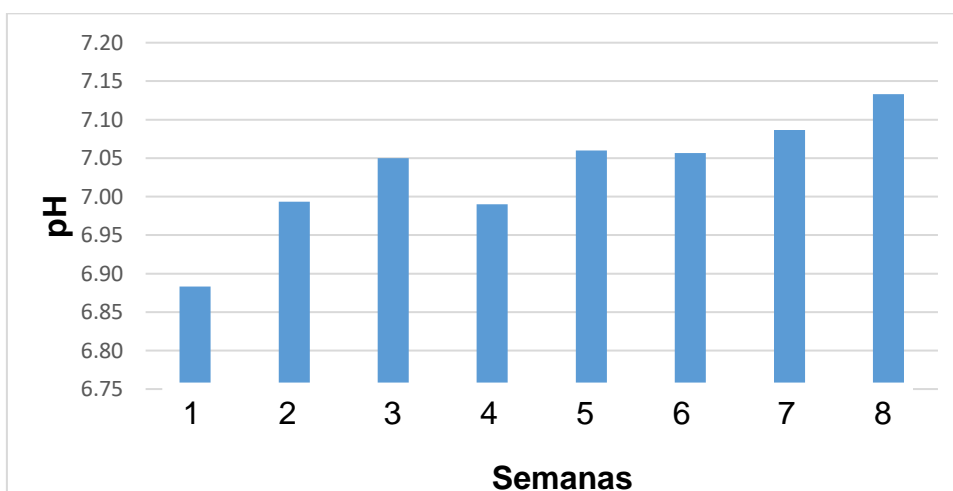
**Gráfico 3-** Control de pH semanal del sustrato3 (Lodo + cortes de pasto)



**Gráfico 4-** Control de pH semanal del sustrato 4 (Lodo + frutas)



**Gráfico 5-** Control de pH semanal del sustrato 5 (Lodo + estiércol bovino + estiércol ovino + cortes de pastos + frutas)



En las tablas se muestra un cambio de pH a lo largo de los días, esto es debido a que el sustrato una vez que se colocaba en las camas de estabilización era fresco es decir recién se suministraba a las lombrices, al pasar los días este se degradaba liberando lixiviado que perjudica al pH de los lodos.

El lodo crudo al inicio dio un valor de 6.5 considerado como ligeramente ácido, luego de la semana de deshidratación y colocación del sustrato subió un valor de 6.88 en el sustrato 5 (Lodo + pasto + estiércol bovino + estiércol ovino + residuos de frutas).

La tabla muestra el aumento de pH hasta llegar a la semana 8 con un valor de 7.17 considerado un valor ligeramente alcalino. Se trató de mantener el pH entre un valor de 6.8 – 7.2 ya que con estos valores las lombrices podían degradar la materia. Se utilizó un equipo de lectura directa para realizar el monitoreo.

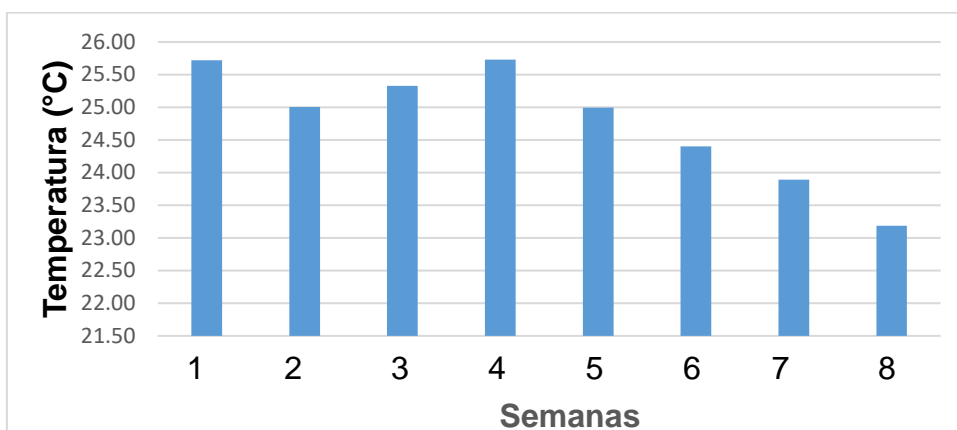
#### **4.1.2 Control de temperatura °C**

Las temperaturas tomadas durante la investigación fueron controladas y estables, en algunas ocasiones se registraron temperaturas de 27 °C, cabe anotar que esta temperatura se registró en un día caluroso, se procedió a voltear, oxigenar y humedecer el cultivo y se pudo llegar a una temperatura estable, aunque variante pero no perjudicial para las lombrices.

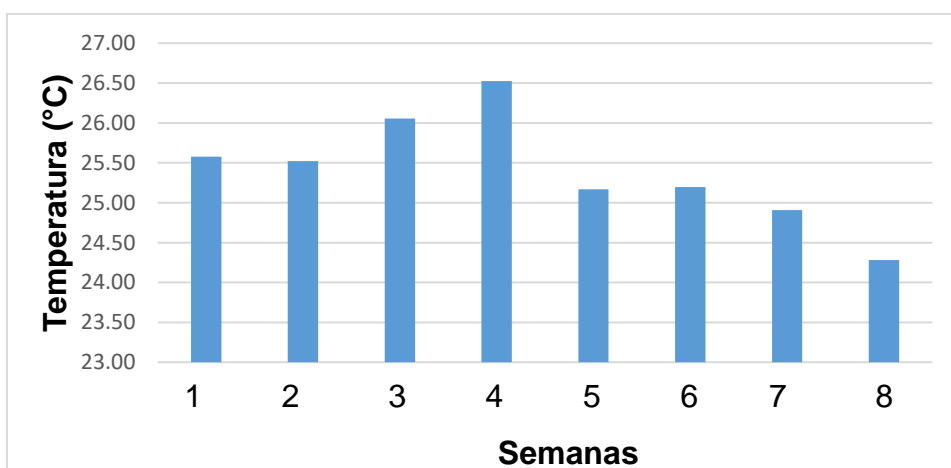
El volteo y oxigenación se hacían los días del muestreo es decir los días lunes, miércoles y viernes, esto para controlar la temperatura del lodo y evitar que las lombrices murieran.

En los gráficos 6, 7, 8, 9 y 10 se muestran las temperaturas tomadas para un total de 8 semanas, día de por medio (lunes, miércoles y viernes), es decir, la temperatura se registraba cada 2 días con muestras aleatorias dentro de la cama. Los datos fueron tomados en cinco puntos de la cama, el cual se promedió por semana para tener un dato más específico. A continuación, se muestran los gráficos con los resultados obtenidos:

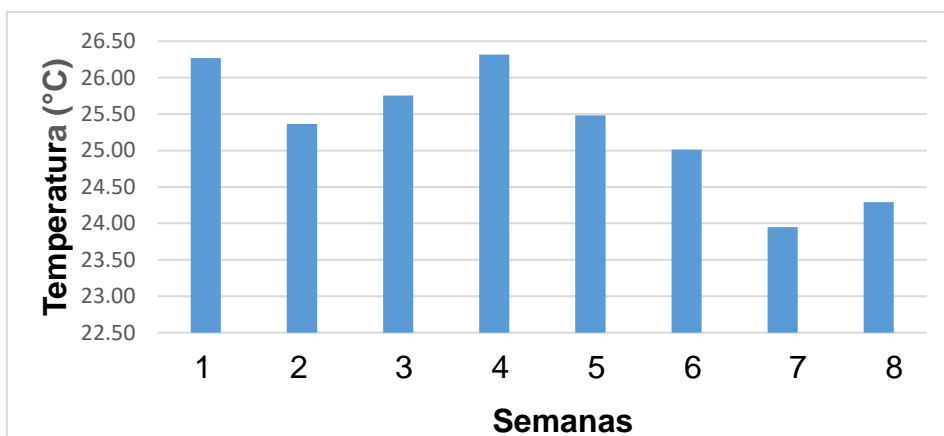
**Gráfico 6-** Control de temperatura del sustrato 1 (Lodo + estiércol bovino)



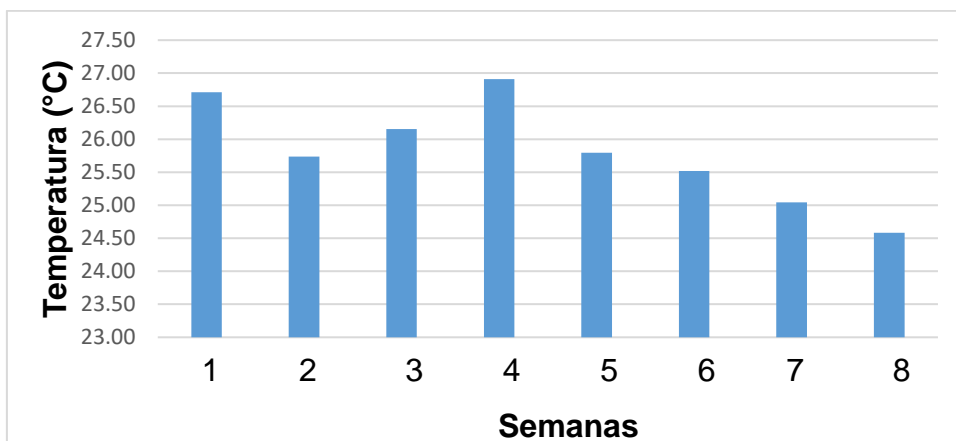
**Gráfico 7-** Control de temperatura semanal del sustrato 2 (Lodo + estiércol ovino)



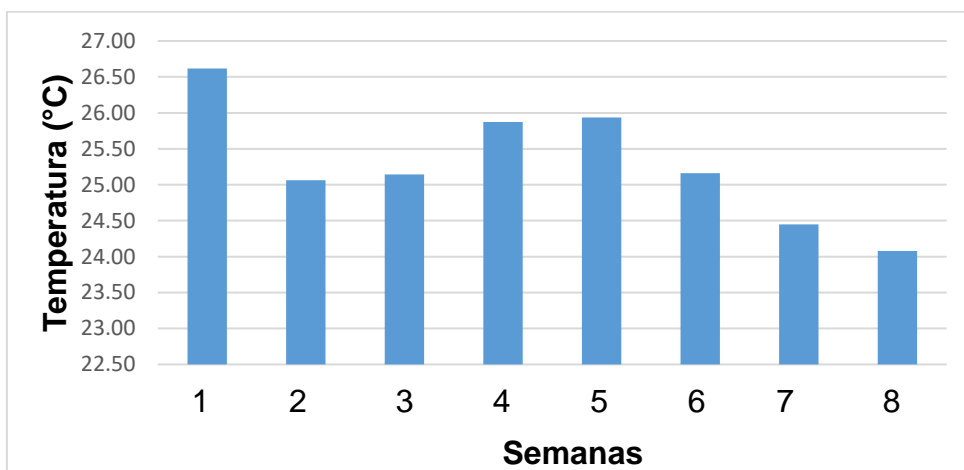
**Gráfico 8-** Control de temperatura semanal del sustrato 3 (Lodo + cortes de pastos)



**Gráfico 9-** Control de temperatura semanal del sustrato 4 (Lodo + frutas)



**Gráfico 10-** Control de temperatura semanal del sustrato 5 (Lodo + estiércol bovino + estiércol ovino + cortes de pastos + frutas)



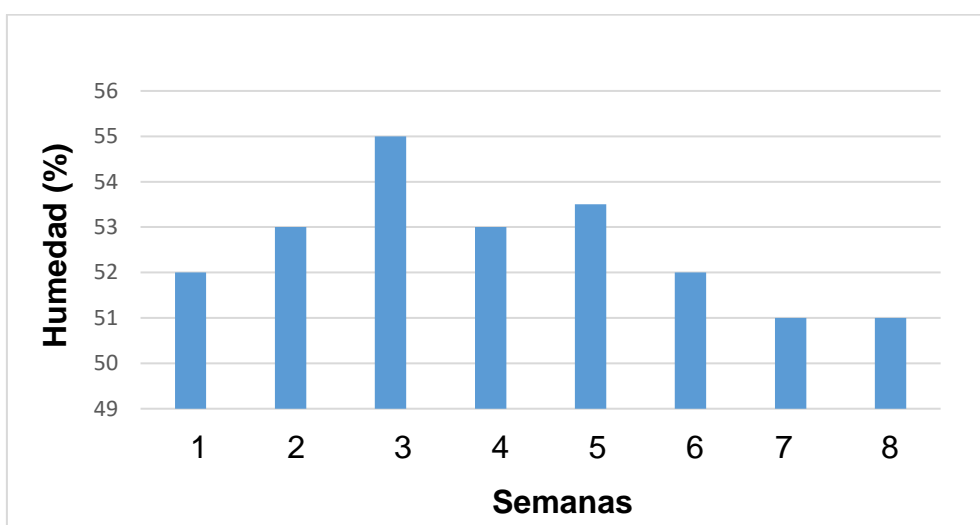
Los gráficos muestran una temperatura estable de la semana uno a la semana cinco, pero de la semana seis a la semana ocho hubo un descenso de temperatura esto debido a que en esas semanas comenzaron a caer lluvias en Estelí y esto afectó un poco el biosólido, pero no presento cambios considerables. Como se puede observar respecto al pH que a mayor temperatura el biosólido se vuelve ácido y a menor temperatura el biosólido se vuelve alcalino. Por lo que se mantuvo una temperatura entre los 25°C - 26°C para no tener problemas de pH.

### 4.1.3 Control de % de Humedad

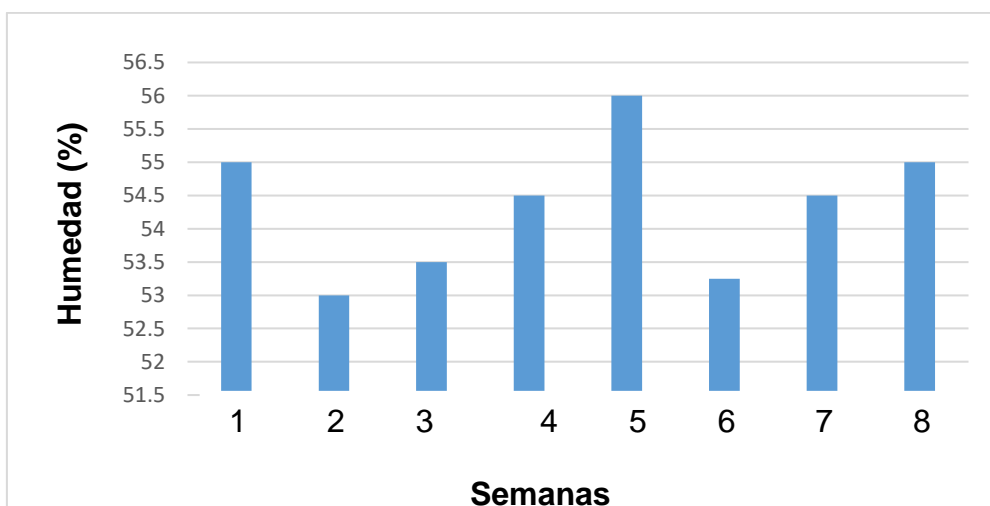
El lodo crudo presento problemas de % de Humedad dando un valor del 80% ya que era muy viscoso y esto no permitía la introducción y adaptación de las lombrices, en dicho caso la lombriz se estresaba y ahogaba, por lo que se optó por deshidratar el lodo llevándolo a un valor del 50%.

Los datos durante la investigación fueron controlados y estables, se monitoreo durante 8 semanas tomando los datos los días viernes, una vez por semana. A continuación, se muestran los gráficos con los resultados obtenidos:

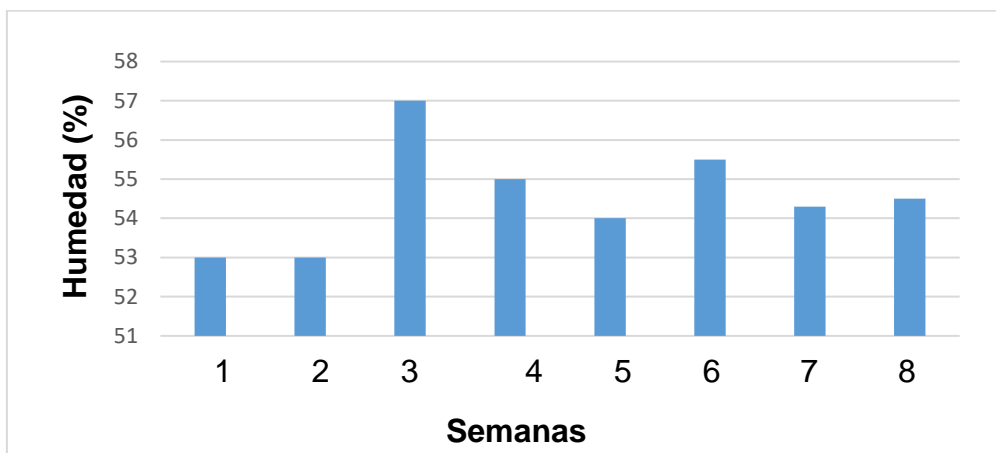
**Gráfico 11-** Control de % de humedad semanal del sustrato 1 (Lodo + estiércol bovino)



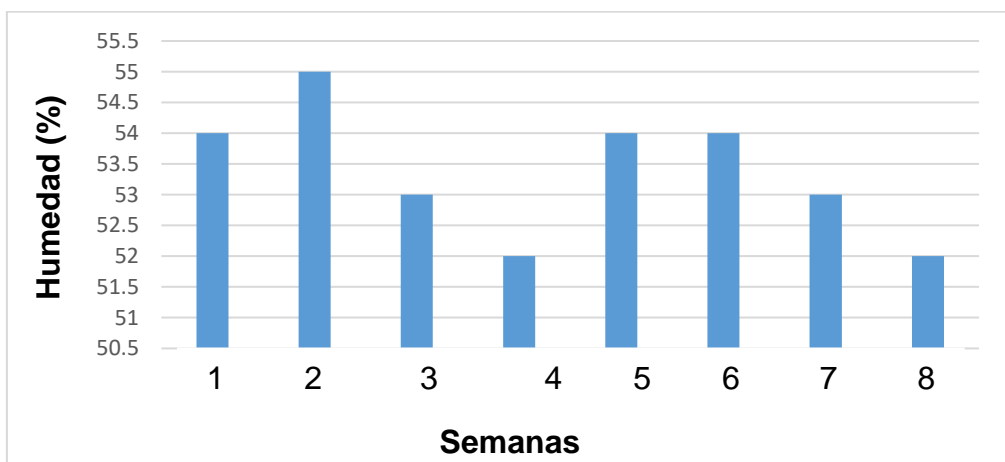
**Gráfico 12-** Control de % de humedad semanal del sustrato 2 (Lodo + estiércol ovino)



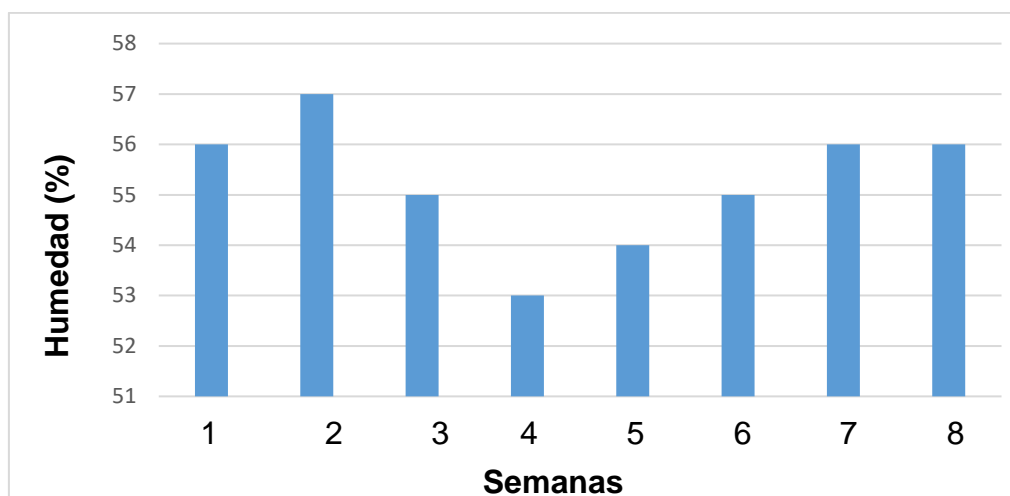
**Gráfico 13-** Control de % de humedad semanal del sustrato 3 (Lodo + cortes de pastos)



**Gráfico 14-** Control de % de humedad semanal del sustrato 4 (Lodo + frutas)



**Gráfico 15-** Control de % de humedad semanal del sustrato 5 (Lodo + estiércol bovino + estiércol ovino cortes de pastos + frutas)



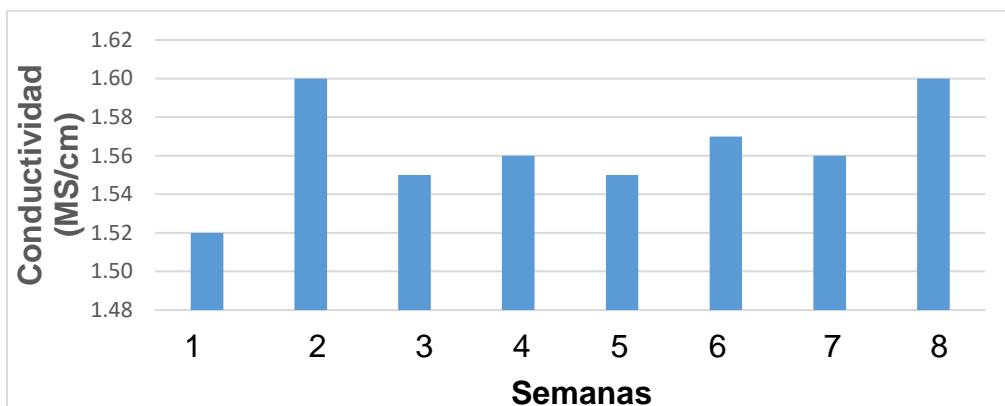
El rango óptimo oscila entre el 50%- 70% de humedad, según la metodología planteada. Los gráficos muestran un % de humedad estable entre el 50%-60%, se mantuvo en este rango para la sobrevivencia de la *Eisenia Foetida* ya que, según metodología, no puede exceder del 80% de humedad, el cual el biosólido se volverá líquido y la lombriz morirá. En el sustrato que se escogió como optimo, tiene muchos compuestos lignocelulósicos que evitan que el sustrato se acidifique y eso mejora las características a cambio del resto de los sustratos.

#### **4.1.4 Control de conductividad eléctrica**

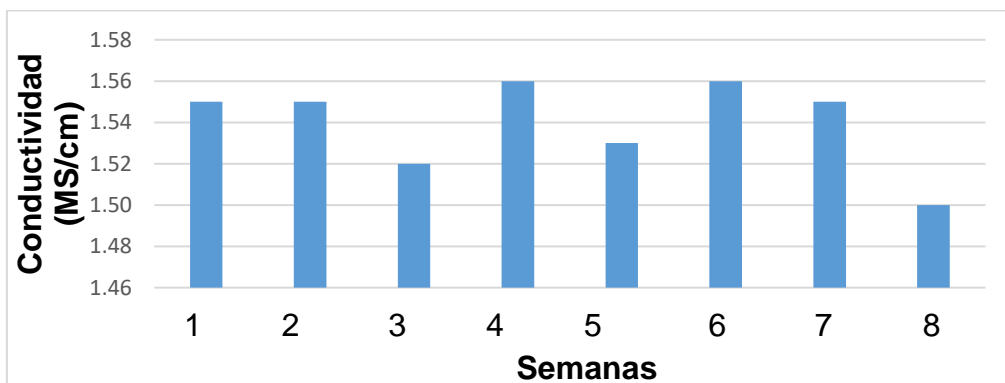
Los datos durante la investigación fueron controlados y estables, se monitoreo durante 8 semanas tomando los datos los días viernes, una vez por semana. A continuación, se muestran los gráficos con los resultados obtenidos:



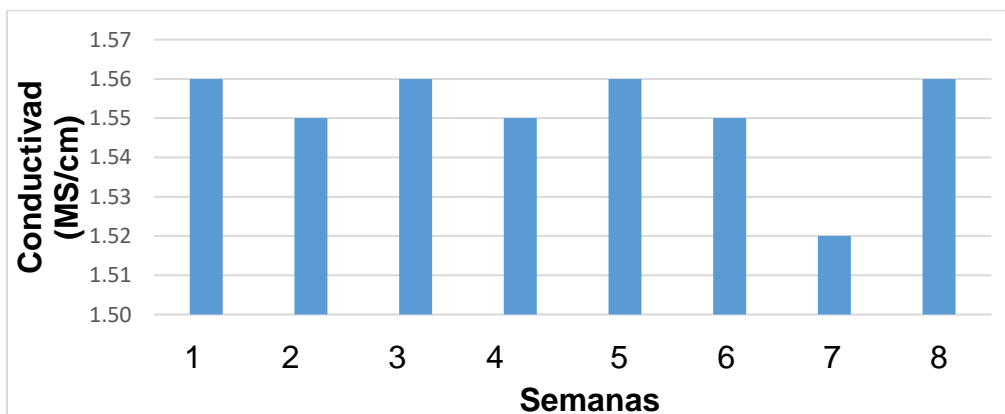
**Gráfico 16-** Control de conductividad eléctrica del sustrato 1 (Lodo + estiércol bovino)



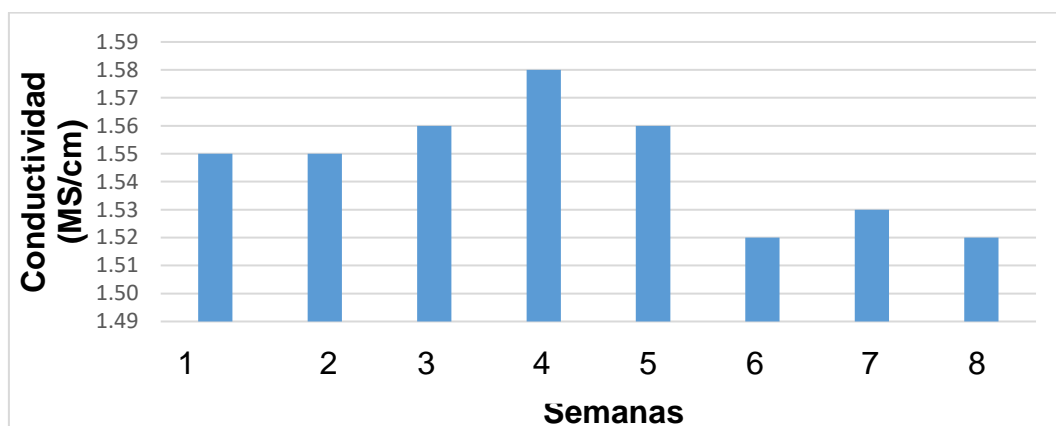
**Gráfico 17-** Control de conductividad eléctrica del sustrato 2 (Lodo + estiércol ovino)



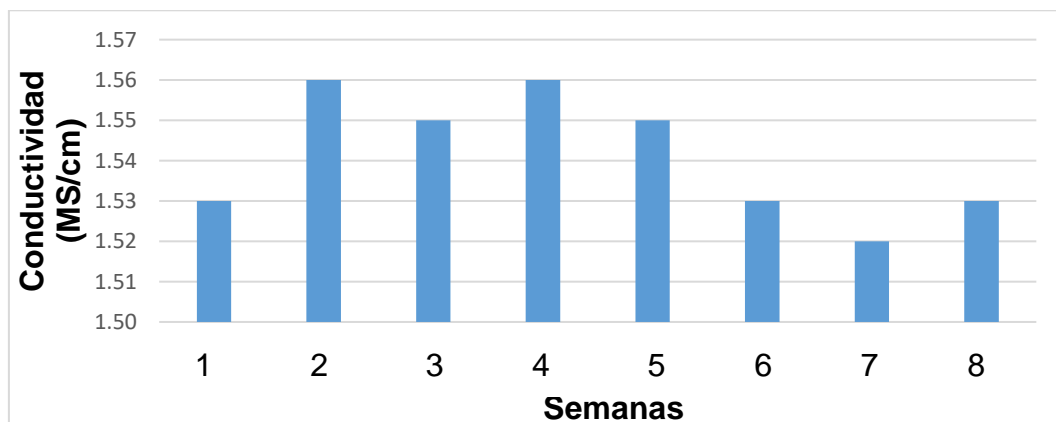
**Gráfico 18-** Control de conductividad eléctrica del sustrato 3 (Lodo + cortes de pastos)



**Gráfico 19-** Control de conductividad eléctrica del sustrato 4 (Lodo + frutas)



**Gráfico 20-** Control de conductividad eléctrica del sustrato 5 (Lodo + estiércol bovino + estiércol ovino + cortes de pastos + frutas)



El gráfico muestra un aumento de conductividad, que a medida que el pH aumentaba la conductividad también y esto generaba una mayor reproducción de biomasa dentro del biosólido, generando más humus de lombriz el cual significaba que el lodo tenía la suficiente capacidad de degradación.

#### **4.2. Análisis del Biosólido**

La receta alimenticia o sustrato mejor aceptado fue la de la combinación de los cinco tipos de sustrato (Lodo + pasto + estiércol bovino + estiércol ovino + residuos de frutas) con este sustrato combinado había una gran cantidad de producción de biomasa y degradación del lodo a compost, ya que las lombrices producían más humus por lo que significaba que las lombrices procesaban mejor este alimento. Los

sustratos alimenticios (residuos de frutas y pasto) presentaron buena aceptación, pero se observó que presentaron plagas, hongos y con el porcentaje de humedad hubo variaciones ya que la fruta se descomponía muy rápido en un líquido viscoso que resultaba un problema para las lombrices ya que no podían degradar muy bien este sustrato (Trejos & Agudelo, 2012).

Con el sustrato alimenticio de pasto, no se obtenía resultados esperados en cuanto a reproducción de biomasa y compost, ya que el pasto se degradaba muy rápido y no permitía el proceso planificado.

Los cultivos alimentados con el sustrato combinado no presentaron ningún tipo de plagas, la reproducción y la cantidad de cocones (huevos de lombriz) fue mayor a la de los demás sustratos, por esta razón se elige como sustrato alimenticio los sustratos combinados (Lodo + pasto + estiércol bovino + estiércol ovino + residuos de frutas) por su gran cantidad de generación ya que el estiércol bovino y ovino tienen una mayor cantidad de materia orgánica que resulta de mucho agrado para las lombrices (Trejos & Agudelo, 2012).

Los análisis se realizaron al sustrato con mejores resultados obtenidos, siendo el sustrato 5 (Lodo + estiércol bovino + estiércol ovino + cortes de pastos + frutas) ya que en temperatura, pH, reproducción y sobrevivencia dio resultados favorables. En este sustrato la lombriz sobrevivió más en comparación a los otros sustratos.

**Tabla 10-** Resultados de análisis fisicoquímicos y microbiológicos del biosólido (lodo + sustratos combinados) de la semana 1 a la semana 4

<b>Biosólido</b>		<b>Parámetros ( NOM-004-SERMARNAT-2002</b>
<b>Materia Orgánica %</b>	13.31%	No aplica a la norma
<b>Nitrógeno Total %</b>	1.820 %	No aplica a la norma
<b>Fosforo Total mg/g-1</b>	0.175 mg/g-1	No aplica a la norma
<b>Coliformes Termo tolerantes</b>	1.34E+05 NMP/g (seco)	>2 000 000 NMP/g base seca
<b>Huevos de Helmintos</b>	AND H/2g ST	Menor a 35 NMP/g base seca

Fuente: Propia

La tabla muestra los valores obtenidos del laboratorio del biosólido, CIRA UNAN-MANAGUA.

Con el dato obtenido de materia orgánica hubo una disminución del 13.40% que representaba el lodo crudo a un 13.31% que representa el lodo con el sustrato combinado (lodo + estiércol bovino + estiércol ovino + pasto + residuos de frutas).

Con respecto al nitrógeno total, hubo disminución de 2.456% que representa el lodo crudo a un valor de 1.820% que representa el biosólido.

El fósforo total dio un valor de 0.175 mg/g-1, esto indica un aumento con respecto al lodo crudo que dio un valor de 0.095 mg/g-1, lo cual indica que el biosólido sirve como fertilizante. Los datos de coliformes termo tolerantes dieron un valor de  $1.34 \times 10^5$  NMP/g (seco) para el biosólido con respecto a los datos de lodo crudo que dio un valor de  $1.00 \times 10^0$  NMP/g (seco), quiere decir que al lodo se le colocó un sustrato de estiércol (bovino y ovino) que aumentó su porcentaje de coliformes, esto por ser un material orgánico que proviene del intestino del animal.

Con respecto a huevos de helmintos no se encontraron en el biosólido ya que al inicio los lodos crudos no contenían dicho patógeno, y el sustrato que se le colocaron a los lodos no contenían de estos huevos.

**Tabla 11-** Resultados de análisis fisicoquímicos y microbiológicos del biosólido (lodo + sustratos combinados) de la semana 5 a la semana

<b>Biosólido</b>		<b>Parámetros ( NOM-004-SERMARNAT-2002</b>
<b>Materia Orgánica %</b>	13.31%	No aplica a la norma
<b>Nitrógeno Total %</b>	1.960 %	No aplica a la norma
<b>Fósforo Total mg/g-1</b>	2.688 mg/g-1	No aplica a la norma
<b>Coliformes Termotolerantes</b>	$1.24 \times 10^4$ NMP/g (seco)	>2 000 000 NMP/g base seca
<b>Huevos de Helmintos</b>	AND H/2g ST	Menor a 35 NMP/g base seca

Fuente: Propia

Con el dato obtenido de materia orgánica no hubo variación se mantuvo en un valor de 13.31% con respecto a los primeros análisis del biosólido de la semana 1 a la semana 4 que también dio el mismo valor de 13.31%

Con respecto al nitrógeno total, hubo un aumento de 1.820% que representa el biosólido de la semana 1 a la semana 4, a un valor de 1.960% que representa el biosólido de la semana 5 a las semanas 8.

El fósforo total dio un valor de 2.688 mg/g<sup>-1</sup>, esto indica un aumento con respecto al biosólido de la semana 1 a la semana 4 que dio un valor de 0.175 mg/g<sup>-1</sup>, lo cual indica que el biosólido sirve como fertilizante.

Los datos de coliformes termo tolerantes dieron un valor de 1.24E+04 NMP/g (seco) para el biosólido con respecto a los datos de biosólido de la semana 1 a la semana 4 que dio un valor de 1.34E+05 NMP/g (seco), quiere decir que la lombriz degrada un logaritmo de coliformes en un mes.

Con respecto a huevos de helmintos no se encontraron en el biosólido ya que al inicio los lodos crudos no contenían dicho patógeno, y el sustrato que se le colocaron a los lodos no contenían de estos huevos.

#### **4.3. Extracción de las lombrices**

Para extraer las lombrices de las camas de estabilización, se procede a dejar la cama sin alimento durante ocho días, de esta manera se causa estrés en las lombrices, provocando que ellas puedan salir, luego se procede a colocar alimento en una de las esquinas de las cajas de esta manera ellas buscaran el alimento y se hace más fácil la extracción.

Las lombrices se extraen de esta manera ya que para cantidades pequeñas Trejos y Agudelo (2012) señala que se deben de extraer de manera manual y que para cantidades muy grandes que superen el metro cubico de lodo se deben de extraer por medio de una caja de clavos de 0.10\* 0.10, esta se introduce en el lodo y se cuentan las lombrices por unidad de metro cuidado, eso para resultar más fácil el proceso de conteo de lombrices al final de la degradación del lodo.

En el caso de que algunas lombrices no fueron extraídas de la manera anteriormente mencionada, se procede a tamizar la cama en una zaranda de malla número 4, de esta manera se extrajeron las lombrices para poder contabilizarlas y determinar el aumento de biomasa.

Luego de extraer las lombrices, se contaron y se determinó un aumento de 50 lombrices que fueron colocadas al inicio a un valor de 133 lombrices, esto indica un aumento más del 50% lo cual favoreció al proceso de degradación del lodo a biosólido.

#### **4.4. Procesamiento final del abono**

Al observar que el biosólido tomo una textura similar a la de la tierra, su color cambio de café oscuro a café claro y su olor es similar a la de la tierra, se procedió a desterronar y tamizar el material orgánico en busca de más lombrices, luego se colocó en bolsas de 5 lb para ser enviadas al laboratorio CIRA UNAN-MANAGUA, y de esta manera se observó y determino todo lo planteado en el diseño metodológico.

#### **4.5. Manejo del Biosólido según la NORM-004-SERMARNAT-2002**

Una vez que el estudio finalizo, se procedió a comparar el lodo con la normativa mexicana NORM-004-SERMARNAT-2002 para saber si cumplía con lo estipulado en dicha norma.

Se comparó la tabla (Resultados de análisis fisicoquímicos y microbiológicos del biosólido de la semana 5 a la 8) con la **tabla 6** (Límites máximos permisibles de patógenos y parásitos en los lodos y biosólidos) para saber si el biosólido cumplía con lo escrito en la norma.

Los resultados obtenidos de laboratorio para coliformes fecales da un valor de  $1.24E+04$  NMP/g base seca y la norma da un valor máximo de 2,000,000 NMP/g base seca por lo cual lo clasifica como tipo C. Para Huevos de Helmintos los resultados no dieron ningún.

Según la normativa mexicana NORM-004-SSERMARNAT-2002 el biosólido lo clasifica como tipo C, según la **tabla 7** (Aprovechamiento del biosólido) la norma da el aprovechamiento que se le debe dar al biosólido dependiendo de la clasificación obtenida, por lo cual nuestro biosólido se puede utilizar para usos forestales, mejoramiento de suelos y usos agrícolas, esto significa que el proceso de compostaje tuvo éxito.

Este biosólido puede ser utilizado como abono orgánico, ya que contiene buen porcentaje de materia orgánica, fósforo y nitrógeno que lo hacen muy fértil para las plantas.



## **CAPÍTULO 5- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

“La vida es como una bicicleta, para mantener el equilibrio tienes que seguir adelante.”

-Albert Einstein.



*Líder en Ciencia y Tecnología*



## **CAPÍTULO 5- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **5.1. Conclusiones**

Los análisis de laboratorios del lodo crudo mostraron resultados aceptables por la NOM-004-SERMARNAT-2002 en el cual dieron resultados permisibles por dicha norma que acepta el uso y degradación de estos lodos. Estos lodos presentaron buenas condiciones de materia orgánica, fosforo total y nitrógeno total que son nutrientes de gran importancia para las plantas y el suelo, con respecto a coliformes fecales dio resultados aceptables por debajo de lo permisible que contempla la norma mexicana y en huevos de helmintos no hubo presencia en los lodos.

Se evaluó la sobrevivencia de la *Eisenia Foetida* de acuerdo a la evaluación de cinco tipos de sustratos, en donde la lombriz se comportó diferente en cada sustrato. Gracias a esta evaluación se definió la receta mejor adaptada que fue el sustrato compuesto por Lodo + pasto + estiércol bovino + estiércol ovino + residuos de frutas.

Los resultados fisicoquímicos obtenidos del análisis del biosólido residual revelan que el lodo puede ser aprovechado ya que según la NOM-004-SERMARNAT-2002 lo clasifica como un biosólido tipo C el cual significa que puede ser utilizado como mejoramiento de suelo y para usos agrícolas.

Desde el punto de vista técnico según la norma mexicana ley de protección ambiental para lodos y biosólidos que contiene especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final (NOM-004-SEMARNAT-2002), el material que se obtuvo por medio del lombricompostaje, es un material bueno para la industria agrícola que será utilizado como biosólido ya que no contiene altos contaminantes que son de peligro para la salud humana y está dentro del rango permisible por la normativa mencionada.

La estabilización disminuyó el número de coliformes fecales en los lodos crudos del cual logró un biosólido reusable en agricultura y forestaría en todas las concentraciones evaluadas y el ácido peracético lo logró en la concentración mayor.

La supervivencia y reproducción de la lombriz fueron mayores en los tratamientos de Lodo + estiércol bovino + estiércol ovino + frutas + pasto, lo cual indica que la concentración del biosólido en las mezclas influye significativamente en estos parámetros.

## **5.2. Recomendaciones**

Se recomienda hacer una evaluación por metales pesados para el uso del biosólido ya que estos serán usados con fines agrícolas.

Dentro del proceso de lombricompostaje, se debe de llevar un control exacto de los análisis y datos que se toman, ya que este es un factor importante que determinara la calidad de este material.

La temperatura y humedad juega un papel importante en que decidirá si la lombriz puede sobrevivir en un ambiente con altas temperaturas y mucha humedad, por lo cual estos dos factores deben de estar en un rango que permitan la sobrevivencia y reproducción de estas.

Se observó que, para tener una buena reproducción y sobrevivencia de la lombriz, se debe mantener una temperatura entre 19°C y 27°C

Se recomienda utilizar estiércol de ganado o de cabra ya que estos contienen una gran presencia de materia orgánica, fosforo y nitrógeno que son de alto valor aprovechable por la agricultura.

### **5.2.1. Manejo de Biosólidos**

El uso sustentable de estos biosólidos en suelos y en la agricultura es una forma de aprovechar los mismos, pero deberán ejercerse los controles necesarios para cumplir con la normatividad que regula el uso de los biosólidos en reforestación y en agricultura (Chain, 2008).

Actualmente, los biosólido, son destinados en su mayoría a disposición final, sin embargo, se ha demostrado que tienes diversos usos según la normativa mexicana de uso y disposición final de estos. El uso como fertilizante ha demostrado ser muy efectivo, ya que los biosólidos tienen muchos nutrientes (principalmente nitrógeno y fósforo) para recuperar suelos y sirve como un abono de muy alta calidad (Chain, 2008).

Otro uso un poco más incipiente pero que ha venido creciendo con fuerzas es el de la energía. La incineración es una alternativa que muchas empresas han encontrado para poder reducir la cantidad de lodos que han acumulado. Esta tiene por objetivo tanto la reducción, como la recuperación de la energía que se obtiene de los biosólidos. Sin embargo, hay autores que dicen que la incineración de biosólidos puede ser una práctica ambientalmente poco amigable, debido a que ciertos metales pesados no se pueden eliminar mediante la incineración y que éstos pueden transformarse en sustancias más tóxicas (Chain, 2008).

Tanto en México como en Europa se espera aumentar el porcentaje de utilización de biosólidos con este fin, debido a que sus características orgánicas lo convierten en un abono ideal. Pero cuando se creó el sistema de aguas servidas a través del inodoro, se pensó en hacer un sistema orientado a las aguas domiciliarias, pero no se consideró un sistema aparte para las aguas industriales (principalmente debido a los costos). Esto lleva a que los residuos orgánicos que efectivamente poseen las aguas servidas, sean mezclados no tan sólo con metales, si no que con miles de tóxicos, desde pesticidas a base de cloro como el DDT, dioxinas, asbesto y solventes industriales (Chain, 2008).

Actualmente se han hecho estudios técnicos para demostrar que es posible utilizar biosólidos en la fabricación de ladrillos cerámicos, es decir, que han sido obtenidos por cocción a través de un proceso industrial y los cuales cumplen con las exigencias establecidas en las normas de la A.S.T.M (American Society of Testing Materials) para la fabricación de este tipo de productos. El proyecto de fabricación de ladrillos con biosólidos es rentable, e incluso con esto se podrían reutilizar al menos la mitad de los biosólidos (62%) producidos en los STAR (Chain, 2008).



## CAPÍTULO 6- BIBLIOGRAFIA

“Los grandes pensamientos  
aparecieron al andar. “

-Friedrich Nietzsche.



*Líder en Ciencia y Tecnología*

## CAPÍTULO 6- BIBLIOGRAFIA

### 6.1. Bibliografía

Comisión Nacional de Normalización Técnica y Calidad. (10 de 05 de 2006). *NORMA TÉCNICA OBLIGATORIA NICARAGÜENSE NTON 05 027-05*. Managua: La gaceta.

QUICENO A., Jaime. 1995. Producción de Humus y Lombriz. CORPOICA.

MENDOZA G., Lenin, 2008. Manual de lombricultivo. Secretaría de Educación Pública. Chiapas. México.

González, S. (2007). *Normativa Humus de Lombriz*. Lima: Mc Grahah Hill.

Trejos, M., & Agudelo, N. (2012). *Propuesta para el aprovechamiento de lodos*. Pereira: Limusa.

TORRES, P.; Pérez, A.; ESCOBAR, J.; URIBE, I . y IMERY R. Compostaje de biosólidos de plantas de tratamiento de aguas Residuales. Escuela EIDENAR, Facultad de Ingeniería, Universidad del Valle, Colombia. Artículo de investigación.

MENDOZA G., Lenin, 2008. Manual de lombricultivo. Secretaría de Educación Pública. Chiapas. México.

JOHNSON M., James, 2008. Producción orgánica. Composta, abonos verdes y lombricultura.

PROYECTO DE NORMA MEXICANA NMX-FF-109-SCFI-2007. Humus de lombriz (Lombricomposteo). Especificaciones y métodos de prueba. Diario Oficial de la Federación. 20 de marzo de 2007. NOM-SEMARNAT--

NORMATIVA OFICIAL MEXICANA DE MANEJO DE LODOS NOM -004 SEMARNAT-2002. Protección Ambiental de lodos y biosólidos- Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento.

Reinés A. M. M. 1998. Lumbricultura, Alternativa del desarrollo sustentable. Convenio de cooperación Académica y Cultural entre la Universidad de Guadalajara y la Universidad de la Habana. 36pp.

Sánchez Salinas E. 1997. Calidad del agua tratada para riego y sus efectos sobre los suelos. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 139 pp.





## CAPÍTULO 7- ANEXOS

“Una mente independiente no se basa en lo que piensas, sino en cómo piensas.”

-Christopher Hitchens.



*Líder en Ciencia y Tecnología*



## CAPÍTULO 7- ANEXOS

### 7.1. Anexos

**Imagen 10-** Recolección de lodos en STAR Estelí



**Fuente:** Propia

**Imagen 11-** Montaje experimental en Finca El Limón propiedad de FAREM-ESTELI



**Fuente:** Propia

**Imagen 12-** Colocación de 50 lombrices por cajón



**Fuente:** Propia

**Imagen 13-** Capsula de secado en horno (Platos patrios)



**Fuente:** Propia

**Imagen 15-** Horno utilizado para realizar porcentaje de humedad



**Fuente:** Propia

**Imagen 14-** Equipo de campo utilizado para realizar medición de temperatura



**Fuente:** Propia

**Imagen 17-** Eisenia Foetida (Californiana)



Fuente: Propia

**Imagen 16-** Volteo y oxigenación semanal



Fuente: Propia

**Imagen 18-** Extracción de lombrices por medio del tamizado



Fuente: Propia



**Imagen 19-** Instrumento de campo para realizar medición de conductividad



**Fuente:** Propia

**Imagen 20-** Procesamiento final del biosólido



**Fuente:** Propia

**Imagen 22-** Mantenimiento de muestras para enviar a laboratorio CIRA-MANAGUA



**Fuente:** Propia

**Imagen 21-** Diferencia entre el lodo y el biosólido



**Fuente:** Propia

**Fuente:** Propia

82

Página 1 de 1

**Fuente:** Propia

**Imagen 25-** Análisis de laboratorio de Biosólido, semana 1 a la 4 (PATOGENOS)

[illegible]




**Fuente:** Propia

85



**Imagen 27-** Análisis de laboratorio del Biosólido, de la semana 5 a la 8 (PATOGENOS).



Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua

Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua

Managua, España 200 m a nivel, Teléfono: (505) 2278 6181, 2278 6182  
Teléfono: (505) 2267 8183, apartado postal 4586, correo: veritas.servicios@crat.una.edu.ni

CLIENTE

PROYECTO PARA EL APROVECHAMIENTO DE LOSOS DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CIUDAD DE ESTELI, COMO ALTERNATIVA PARA LA GENERACION DE BIOCOMPOST.  
TITULO DE GRADO FAREM - ESTELI  
Estelí, Estelí  
Bta. Voladora Pasillo Herrera González y Bta. Claudia Del Socorro López Calero  
Tel. 8564 4168

MATIZ DE LA MUESTRA

CLIENTE  
SERVICIO DE PROCESAMIENTO POR EL CLIENTE  
USUARIO NO COMERCIAL  
MUESTRA DE TRATAMIENTO  
COORDINACIÓN  
ELEGIR  
FECHA DE MUESTREO  
HORA DE MUESTREO

SEGUIMIENTO

Recepción  
Por Procedimiento  
Por Procedimiento, Estelí  
Estelí, Estelí  
No operando  
2017-04-25  
11 h 30

RECIBO

2017-04-26  
2017-04-26  
2017-04-26

COORDINADOR DEL LABORATORIO  
FECHA DE RECEPCIÓN  
FECHA DE EMISIÓN DEL RESULTADO  
FECHA DEL REPORTE

RESULTADOS ANALÍTICOS DE MICROBIOLOGÍA

SEGUIMIENTO

RECIBO

Parámetros	Método	Límite de Detección	Resultados	Unidades
COLIFORMES TERMOQUERANTES	1800 <sup>1</sup>	< 0.1803	1.00E+00	NM/g (saco seco)
HIELOS DE HELMINTOS	NCM-004-SEMAMAT2002 <sup>2</sup>		AND	N/2g ST

Observaciones:

Coliformes termotolerantes: Coliformes fecales (determinación oración)

Observaciones:

Coliformes termotolerantes: Coliformes fecales (determinación oración)

Observaciones:

Coliformes termotolerantes: Coliformes fecales (determinación oración)

Observaciones:

Coliformes termotolerantes: Coliformes fecales (determinación oración)

Observaciones:

Coliformes termotolerantes: Coliformes fecales (determinación oración)

Observaciones:

Coliformes termotolerantes: Coliformes fecales (determinación oración)

Observaciones:

Coliformes termotolerantes: Coliformes fecales (determinación oración)

Observaciones:

Coliformes termotolerantes: Coliformes fecales (determinación oración)

Observaciones:

Coliformes termotolerantes: Coliformes fecales (determinación oración)

DECLARACIÓN DEL ASEGURAMIENTO ANALÍTICA EN ESTE REP

En función de las previsiones contenidas (NTN 04-001-05), el Laboratorio de Microbiología, como MB-0963, ha capacitado al personal por el Cliente. Ha sido procesado Operativos Normalizados, establecidos de la Calidad de la Información. Los Procedimientos en mención son Procedimientos Operativos Normalizados.

Conservamos los resultados cuantitativos procesados de la muestra que se le al análisis solicitado en la bilicora, ge de estos registros los mantendrá la Institución.

ÁREA ANALÍTICA

ÁREA ANALÍTICA

ÁREA ANALÍTICA

Fuente: Propia

86

**Imagen 28-** Análisis de laboratorio de Biosólido, de la semana 5 a la 8 (NUTRIENTES).

Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua			
Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua			
Hospital Monte Espartero 300 m al norte, Managua (505) 2278 6981, 2278 6707, 2278 6982 Teléfono (505) 2267 8109, apartado postal 4598, correo: veritas.servicios@crim.unan.edu.ni			
<b>CLIENTE</b>		<b>Resultados Analíticos Químicos</b>	
PROCESAMIENTO PARA EL APROVECHAMIENTO DE LODOS DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CIUDAD DE ESTELI COMO ALTERNATIVA PARA LA GENERACION DE BIOCOMPOST, TESIS DE GRADO FAREBER-ESTELI		Fuente: LA MUESTRA	
Escriba, Estelí		Sistema: Radioquímica	
Vra. Claudia Patricia Herrera González y Bra. Claudia del Socorro López Calero		Pais: Nicaragua	
Tel: 88544168		Escriba, Estelí	
CÓDIGO DEL LABORATORIO		No reportados	
FECHA DE RECEPCIÓN		2017-04-25	
FECHA DE FIN DEL ANÁLISIS		2017-04-25	
FECHA DEL REPORTE		2017-06-22	
<b>Parámetros</b>			
<b>Muestra</b>	<b>Método</b>	<b>Unidad de Medición</b>	<b>Resultados</b>
MATERIA ORGÁNICA TOTAL	Método Gravimétrico	%	13.48
NITRÓGENO KJELDAHL	Kjeldahl	%	0.035
FOSFORO TOTAL	Asido ascético	mg/l	0.095
<b>Resultados Analíticos Químicos</b>			
Fuente: LA MUESTRA			
Sistema: Radioquímica			
Pais: Nicaragua			
Escriba, Estelí			
No reportados			
2017-04-25			
2017-04-25			
2017-06-22			
<b>DECLARACIÓN DEL ASEGURAMIENTO ANALÍTICA EN ESTE REPORTE</b>			
En función de las previsiones contenidas en (NTN 04 001-05), el Laboratorio de Radioquímica codificado como RQA-012 fue capacitado por el cliente. Ha sido procesado Operativos Normalizados establecidos por el de la Calidad de la información presentada e en mención son los descritos en el Manual Normalizado del Laboratorio de Radioquímica			
Conservamos los resultados cualitativos, procesamiento de la muestra que se encuentre análisis solicitado en la bitácora general del laboratorio los mantendrá la institución por un tiempo			
<b>ASEA ANALITICA</b>			
Managua, a los veintidos días del mes de mayo del 2017			
<b>ASEA TECNICA</b>			
<b>Y CONTROL DE LA</b>			